

# **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR NO EDIFÍCIO DA PORTARIA PRINCIPAL DO PORTO DE LEIXÕES**

**SANDRA CRISTINA MONTEIRO SOARES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

---

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira  
de Almeida

JUNHO DE 2017

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e irmão

*“Como ninguém é capaz de saber tudo, não temos outro remédio senão escolher e aceitar  
com humildade o muito que ignoramos.”*

*Fernando Savater*



## AGRADECIMENTOS

Quero manifestar o meu mais sincero agradecimento a todos que contribuíram para a viabilização deste trabalho, no qual sem eles não era possível alcançar este objetivo final.

Iniciando pela minha orientadora, Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira, que me facultou todos os meios necessários para a realização deste trabalho, tendo sido fulcral a sua orientação, os seus conselhos e os seus conhecimentos. Para além disso quero destacar toda a disponibilidade prestada e compreensão e, em especial, toda a confiança depositada e as palavras de incentivo.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida, pelos ótimos conselhos e dicas a nível informático, pela orientação e conhecimentos prestados. Quero também destacar que apesar do Porto não ser o seu local de residência, demonstrou sempre uma enorme disponibilidade e dedicação.

Agradeço aos responsáveis da Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL), em especial ao Eng. Pedro Tato, pela autorização na utilização dos espaços da Portaria Principal do Porto de Leixões para a realização dos ensaios experimentais, os quais foram indispensáveis para a concretização deste trabalho. Quero salientar a colaboração incansável dos funcionários das cabines e da sala dos seguranças, bem como toda a simpatia e boa vontade demonstrada. À Eng.<sup>a</sup> Graça Oliveira por fornecer mensalmente os dados climáticos da APDL.

Ao Vítor Cardoso pelo apoio servido e tempo despendido na realização dos ensaios de conforto térmico.

À empresa *Monitar* pela cedência dos equipamentos que permitiram a realização dos ensaios da qualidade do Ar e as deslocações dos mesmos ao local de estudo. Também quero referir a ajuda imprescindível do Professor Paulo Pinho no fornecimento dos dados da monitorização dos poluentes bem como a disponibilidade no esclarecimento de dúvidas.

Saliento o apoio fundamental dos meus amigos, Cátia, Ina, Pi, Ribeiro e Zé, por estarem sempre presentes neste meu percurso e por me terem proporcionado um dos melhores anos da faculdade. Obrigada por todas as palavras, conselhos, carinho e gargalhadas de descontração.

À Becas, minha amiga de infância, por estar sempre presente, apesar da distância, e ser o meu grande apoio nos momentos mais complicados.

À minha família, em especial ao meu irmão e aos meus pais, pela educação que me deram, pelo apoio incondicional, por todo o amor depositado e essencialmente, pela enorme paciência nas alturas mais difíceis que este percurso revelou.

Por fim, mas não menos importante, quero agradecer ao meu namorado, Diogo, por ser o meu grande suporte e me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos e alcançar os meus objetivos. O seu apoio, os seus conselhos e críticas foram essenciais nesta última etapa, tendo sido fundamental a sua presença e todo o seu amor.

A dissertação foi realizada no âmbito do Projeto Sudoe Stop CO<sub>2</sub>. O Projeto Sudoe Stop CO<sub>2</sub> é cofinanciado pelo programa Interreg Sudoe através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).



## **RESUMO**

Os efeitos nocivos para a saúde humana, resultantes da degradação da qualidade do ambiente interior, assumem extrema importância nos dias de hoje. Os aumentos dos níveis de poluição, a reduzida ventilação dos espaços, como consequência da crescente preocupação com os consumos energéticos, conduziram à criação de espaços cada vez menos confortáveis.

Face a esta problemática, a presente dissertação focou-se na avaliação da qualidade do ar interior (QAI) e das condições de conforto térmico em dois espaços distintos da Portaria Principal do Porto de Leixões (sala dos seguranças e cabines) através de campanhas experimentais, permitindo, posteriormente, a aplicação de métodos e modelos de avaliação definidos pelas normas atualmente em vigor.

Nesse sentido realizou-se inicialmente uma abordagem aos dois parâmetros em causa da avaliação da qualidade do ambiente interior (QAI e conforto térmico), descrevendo os princípios fundamentais e as técnicas de avaliação.

Foram executadas campanhas experimentais, que decorreram entre o período de Março e Maio, com a realização de três tipos de ensaios, designadamente, ensaios para avaliação da qualidade do ar, para a avaliação da ventilação e para a avaliação do conforto térmico. A avaliação da qualidade do ar consistiu na monitorização em contínuo dos poluentes gasosos, fornecendo a concentração desses poluentes durante o período em questão. Para avaliação da ventilação utilizou-se a técnica do decaimento do método do gás traçador, determinando assim, as renovações horárias dos espaços. Quanto à avaliação do conforto térmico, a campanha experimental consistiu na medição dos parâmetros que influenciam diretamente o conforto térmico e no registo das percepções térmicas dos ocupantes através de inquéritos.

No final da campanha de ensaios, analisaram-se os dados recolhidos aplicando, no caso do conforto térmico, os modelos analíticos e adaptativos, seguidos de uma discussão das percepções térmicas obtidas. Relativamente à QAI, foi realizada uma comparação das concentrações com os limites regulamentares, uma análise das percepções da qualidade do ar dos ocupantes e uma análise às taxas de renovação de ar obtidas. Por fim, compararam-se estes resultados com outros parâmetros externos.

De um modo global, este estudo permitiu concluir que os modelos de avaliação do conforto térmico demonstraram ser uma boa ferramenta para a caracterização das condições de conforto nos espaços em estudo. Na sala dos seguranças foram mais facilmente garantidas as condições térmicas desejáveis, possuindo também, por sua vez, uma melhor QAI, proporcionando aos funcionários uma maior satisfação. Nas cabines, estes parâmetros apresentaram uma pior classificação, conduzindo a um maior desagrado dos ocupantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade do Ambiente interior, Qualidade do ar interior, Conforto térmico, Ventilação, Monitorização.





## ABSTRACT

The harmful effects for the human health, resulting from the indoor environment quality (IEQ) degradation, are extremely important nowadays. Increases in pollution levels, space ventilation deficit, as a consequence of the growing concern about energy consumptions, have led to the creation of less comfortable spaces.

In view of this problem, the present dissertation focused on the evaluation of the following parameters: QAI and thermal comfort conditions of two different spaces of Port of Leixões Main Lobby (Security Room and Cabins). This evaluation was based on experimental campaigns, in order to allow the current standards methods and evaluation models application.

In this sense, an initial approach was made to the two indoor environment quality evaluation parameters (QAI and thermal comfort), describing fundamental principles and evaluation techniques.

The experimental campaigns were between March and May, with three evaluation types: air quality evaluation, ventilation evaluation and thermal comfort evaluation. The air quality evaluation consisted of pollutants gaseous continuous monitoring, providing these pollutants concentration during the evaluation period. For the ventilation evaluation, the *tracer gas method decay technique* was used, thus determining the compartments hourly air renewal. For the thermal comfort evaluation, the experimental campaign consisted on the measurement of parameters that directly influence the thermal comfort and on the occupants' thermal perceptions record, through surveys.

At the end of the tests campaigns, the collected records were analysed applying, for the thermal comfort case, the analytical and adaptive models, with a subsequent thermal perceptions discussion. Relatively to indoor air quality, there was a realized comparison between obtained concentrations and standard limits, an occupants' air quality perception analysis and an obtained air renewal rates analysis. Finally, these results were all compared with other external parameters.

Overall, this study allows concluding that the thermal comfort evaluation models showed satisfactory results for the study spaces comfort conditions characterization. In the security room, were more easily guaranteed the desired thermal conditions, as well as, guarantee a good indoor air quality, supplying a greater satisfaction to the employees. In the cabins, these parameters showed a worse classification, leading to an occupants' greater displeasure.

**KEYWORDS:** Indoor environment quality, Indoor air quality, Thermal comfort, Ventilation, Monitoring.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	I
<b>RESUMO</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	V
 <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	 1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO .....	2
1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO .....	2
 <b>2. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR</b> .....	 5
2.1. ENQUADRAMENTO .....	5
2.2. QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI) .....	6
2.2.1. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO .....	6
2.2.2. PRINCIPAIS POLUENTES INTERIORES .....	6
2.2.3. PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS .....	9
2.2.5. TÉCNICAS PARA AVALIAR A QAI .....	11
2.3. CONFORTO TÉRMICO .....	14
2.3.1. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONFORTO TÉRMICO .....	14
2.3.1.1. Parâmetros ambientais .....	14
2.3.1.2. Parâmetros individuais .....	15
2.3.1.3. Outros parâmetros .....	16
2.3.2. MODELOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO .....	16
2.3.2.1. Modelo analítico .....	17
2.3.2.2. Modelos adaptativos .....	18
2.3.3. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO .....	21
 <b>3. METODOLOGIA</b> .....	 25
3.1. OBJETIVOS .....	25
3.2. ENQUADRAMENTO .....	26
3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO .....	28
3.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR .....	30
3.3.1. CONDIÇÕES E PLANEAMENTO DO ENSAIO .....	30
3.3.2. MEDIÇÕES .....	30

<b>3.4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO .....</b>	<b>33</b>
3.4.1. ENQUADRAMENTO .....	33
3.4.2. CONDIÇÕES E PLANEAMENTO DO ENSAIO .....	33
3.4.3. MEDIÇÕES .....	34
<b>3.5. PROCEDIMENTO DE ENSAIO DO CONFORTO TÉRMICO.....</b>	<b>37</b>
3.5.1. CONDIÇÕES E PLANEAMENTO DO ENSAIO .....	37
3.5.2. MEDIÇÕES .....	38
3.5.3. INQUÉRITOS .....	41
<b>3.6. SÍNTESE.....</b>	<b>42</b>

<b>4. RESULTADOS DOS ENSAIOS DA QUALIDADE DO AR.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
4.1.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DA QUALIDADE DO AR .....	45
4.1.1.1. Resultados 1ª Campanha.....	45
4.1.1.2. Resultados 2ª Campanha.....	51
4.1.1.3. Resultados dos inquéritos .....	55
4.1.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO .....	57
<b>4.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3. SÍNTESE CRÍTICA .....</b>	<b>63</b>

<b>5. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CONFORTO TÉRMICO.....</b>	<b>65</b>
<b>5.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR.....	65
5.1.2. RESULTADOS DOS INQUÉRITOS .....	66
5.1.2.1. Percepção térmica do ambiente interior.....	68
5.1.2.2. Desconforto localizado .....	71
5.1.2.3. Resistência térmica do vestuário.....	72
5.1.2.4. Comportamento adaptativos .....	73
5.1.2.5. Parâmetros da Qualidade do Ambiente Interior .....	74
5.1.3. MODELOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO.....	75
5.1.3.1. Modelo Analítico .....	75
5.1.3.2. Modelo adaptativo da EN 15251 .....	76
5.1.3.3. Modelo adaptativo da ASHRAE 55 .....	79
5.1.4. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO .....	81
<b>5.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>83</b>
<b>5.3. SÍNTESE CRÍTICA .....</b>	<b>87</b>

<b>6. CONCLUSÕES</b>	89
6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS	89
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	90
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 91
 <b>ANEXOS</b>	 93
ANEXO A - INQUÉRITO	95



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Parâmetros da qualidade do ambiente interior .....	6
Figura 2 – Variação, em percentagem, da emissão dos poluentes atmosféricos na UE entre 1990 e 2014, adaptado de [12] .....	10
Figura 3 – Relação entre a percentagem de insatisfeitos com a qualidade do ar e o nível de perceção (decipol), adaptado de [14].....	12
Figura 4 – Relação entre os índices PMV e PPD, adaptado de [21] .....	18
Figura 5 – Modelo adaptativo da ASHRAE 55, adaptado de [17].....	19
Figura 6 – Modelo adaptativo da EN 15251, adaptado de [24] .....	20
Figura 7 – Desconforto térmico devido às diferenças de temperatura na vertical [21].....	21
Figura 8 – Desconforto térmico devido à temperatura do pavimento [21] .....	22
Figura 9 – Desconforto térmico devido à assimetria radiante [21].....	22
Figura 10 – Planta do Porto de Leixões e imagem aérea da Portaria Principal do Porto de Leixões, adaptado de [29] .....	27
Figura 11 – Portaria Principal do Porto de Leixões, adaptado de [30] .....	28
Figura 12 – (a) Interior da sala dos seguranças; (b) Exterior da sala dos seguranças .....	29
Figura 13 – (a) Interior da cabine 2 (b) Exterior da cabine 2 .....	29
Figura 14 – Esquematização dos ensaios de avaliação da qualidade do ar .....	30
Figura 15 – (a) Estação de monitorização exterior utilizada na 1ª Campanha; (b) Sensor exterior utilizado na 2ª Campanha .....	31
Figura 16 – (a) Planta da cabine com localização do sensor para avaliar a qualidade do ar interior (b) Fotografia do sensor na cabine 5 .....	32
Figura 17 – (a) Planta da sala dos seguranças com a localização do sensor para avaliar a qualidade do ar interior (b) Fotografia do sensor na sala dos seguranças .....	32
Figura 18 – Esquematização de um dia de ensaios da avaliação da ventilação .....	33
Figura 19 – Esquematização da técnica do decaimento do método do gás traçador, adaptado de [16] .....	34
Figura 20 – (a) Planta da cabine com a indicação da localização dos aparelhos para avaliação da ventilação (1 -botija de gás, 2 – ventilador rotativo, 3 – suporte de madeira com tubo, 4 – analisador de gás fotoacústico, 5 – computador com <i>software</i> 1312PC); (b) Fotografia com equipamento montado na cabine 2 .....	36
Figura 21 – Esquematização de um dia de ensaios de conforto térmico .....	37
Figura 22 – (a) Planta da cabine com a indicação da localização do equipamento para avaliação do conforto térmico (b) Fotografia com equipamento na cabine 3 .....	38
Figura 23 – (a) Planta da sala dos seguranças com a indicação da localização do equipamento para avaliação do conforto térmico (b) Fotografia com equipamento na sala dos seguranças.....	38

Figura 24 – Estrutura dos inquéritos .....	41
Figura 25 – Registo da temperatura do ar durante a 1ª campanha.....	46
Figura 26 – Registo da velocidade do ar durante a 1ª campanha.....	46
Figura 27 – Variação da concentração de NO e NO <sub>2</sub> durante a 1ª Campanha.....	47
Figura 28 – Variação da concentração de CO e C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> durante a 1ª Campanha .....	48
Figura 29 – Variação da concentração de PM <sub>10</sub> durante a 1ª Campanha.....	48
Figura 30 – Variação da concentração de CO <sub>2</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 1ª Campanha; (b) Dia 28 de Março.....	49
Figura 31 – Variação da concentração das PM <sub>2,5</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 1ª Campanha; (b) Dia 28 de Março.....	50
Figura 32 – Variação da concentração de NO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 1ª Campanha; (b) Dia 28 de Março.....	51
Figura 33 – Valor horário da concentração de NO <sub>2</sub> na cabine 5; (a) 28 de Março; (b) 29 de Março ...	51
Figura 34 – Variação da concentração de NO <sub>2</sub> durante a 2ª Campanha .....	52
Figura 35 – Variação da concentração de CO durante a 2ª Campanha .....	52
Figura 36 – Variação da concentração das PM <sub>2,5</sub> durante a 2ª Campanha .....	53
Figura 37 – Variação da concentração de CO <sub>2</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 2ª Campanha; (b) Dia 18 de Maio.....	54
Figura 38 – Variação da concentração das PM <sub>2,5</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 2ª Campanha; (b) Dia 18 de Maio.....	54
Figura 39 – Variação da concentração de NO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 2ª Campanha; (b) Dia 18 de Maio .....	55
Figura 40 – Resultados dos inquéritos. (a) Qualidade do ar exterior; (b) Qualidade do ar interior .....	56
Figura 41 – Odores no interior .....	56
Figura 42 – Resultados dos inquéritos. (a) Insatisfação com o ar interior; (b) Ar “pesado” no interior	57
Figura 43 – Variação do logaritmo neperiano da concentração de SF <sub>6</sub> em função do tempo na CA2; (a) Janela fechada; (b) Janela aberta .....	58
Figura 44 – Renovações horárias médias (a) Gráfico resumo; (b) Quadro resumo.....	58
Figura 45 – (a) Variação da concentração de NO <sub>2</sub> e do número de veículos nas duas campanhas; (b) Relação entre o número de veículos e a concentração de NO <sub>2</sub> .....	60
Figura 46 – Relação entre o número de veículos e a concentração de NO .....	60
Figura 47 – Variação da concentração de CO e do número de veículos nas duas campanhas.....	61
Figura 48 – Relação entre o número de veículos e a concentração de PM <sub>10</sub> .....	61
Figura 49 – (a) Concentração de NO <sub>2</sub> nas duas campanhas; (b) Odores no interior.....	62
Figura 50 – Relação entre as renovações horárias e a velocidade do vento; (a) Janela fechada; (b) Janela aberta.....	62



Figura 51 – Variação da temperatura exterior .....	66
Figura 52 – (a) Variação da velocidade do vento no período de medição; (b) Variação da direção do vento no período de medição .....	66
Figura 53 – Caracterização da amostra dos dois locais em estudo; (a1) Sexo SS; (a2) Sexo CA; (b1) Idade SS; (b2) Idade CA; (c1) Peso SS; (c2) Peso CA; (d1) Altura SS; (d2) Altura CA.....	67
Figura 54 – Regularidade na prática de exercício físico .....	68
Figura 55 – Sensação térmica dos indivíduos; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	69
Figura 56 – Avaliação térmica do ambiente; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	70
Figura 57 – Tolerância térmica dos indivíduos; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	70
Figura 58 – Preferência térmica dos indivíduos; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	71
Figura 59 – Desconforto localizado .....	72
Figura 60 – Resistência térmica do vestuário (clo) .....	72
Figura 61 – Alteração do vestuário; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	73
Figura 62 – Adaptações físicas interativas; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	74
Figura 63 – Fatores da qualidade do ambiente interior .....	74
Figura 64 – Modelo analítico; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	75
Figura 65 – Modelo adaptativo da EN 15251, adaptado de [24] .....	76
Figura 66 – Modelo adaptativo da EN 15251. Registos totais: (a1) SS; (a2) CA; Registos médios: (b1) SS; (b2) CA .....	77
Figura 67 – Percentagem de medições fora dos limites das categorias para a sala dos seguranças .....	78
Figura 68 – Percentagem de medições fora dos limites das categorias para as cabines .....	78
Figura 69 – Modelo adaptativo da ASHRAE 55. Registos totais: (a1) SS; (a2) CA; Registos médios: (b1) SS; (b2) CA .....	79
Figura 70 – Percentagem de medições fora dos limites de aceitabilidade para a sala dos seguranças .....	80
Figura 71 – Percentagem de medições fora dos limites de aceitabilidade para as cabines .....	80
Figura 72 – Diferença de temperatura na vertical; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	81
Figura 73 – Temperatura do pavimento; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines .....	82
Figura 74 – Distribuição da DR média e máxima (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines.....	83
Figura 75 – Relação entre a sensação térmica média e a preferência térmica média.....	84
Figura 76 – Relação entre a sensação térmica média e a temperatura operativa média .....	84
Figura 77 – Relação entre o PMV médio e a sensação térmica média.....	85
Figura 78 – Relação entre a resistência térmica do vestuário e a temperatura operativa .....	86
Figura 79 – (a) Registos de desconforto a nível dos pés nos dois locais em estudo; (b) Representação da PD obtida a partir do modelo de desconforto devido à temperatura do pavimento.....	86



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Limiar de proteção de poluentes físico-químicos [1],[4],[5].....	7
Quadro 2 – Valor limite de alguns poluentes atmosféricos [9].....	10
Quadro 3 – Quantidade de poluição libertada por um indivíduo em função da atividade física [14]....	12
Quadro 4 – Máxima concentração permitida de alguns gases traçadores [16].....	13
Quadro 5 – Escala de conforto térmico [17],[21].....	17
Quadro 6 – Categorias do ambiente térmico [17], [21] .....	18
Quadro 7 – Parâmetro A em função da velocidade do ar [17].....	19
Quadro 8 – Limites máximos de aceitabilidade [17] .....	19
Quadro 9 – Relação entre a PD e $\Delta t_{pr}$ [21] .....	22
Quadro 10 – Valores recomendados para $\Delta t_{pr}$ [17] .....	23
Quadro 11 – Limites do desconforto localizado para as diferentes categorias [21] .....	23
Quadro 12 – Instalações da APDL e respetivos concessionários [26], [27] .....	26
Quadro 13 – Equipamento utilizado no ensaio de avaliação da ventilação .....	36
Quadro 14 – Sondas do equipamento <i>Thermal Microclimate HD32.1</i> [32] .....	40
Quadro 15 – Número de ensaios realizados nos diferentes locais.....	43
Quadro 16 – Número de veículos que entraram e saíram da Portaria Principal do Porto de Leixões durante as campanhas .....	59
Quadro 17 – Distinção dos dois períodos de um dia de ensaios.....	68
Quadro 18 – Limites para a estação de aquecimento, adaptado de [24] .....	76



## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

### SÍMBOLOS

PD	–	Percentagem de insatisfeitos (%)
ACC	–	Escalas de aceitabilidade
Ci	–	Perceção da QAI (decipol)
S	–	Calor armazenado (W/m <sup>2</sup> )
M	–	Taxa de metabolismo (W/m <sup>2</sup> )
W	–	Trabalho mecânico (W/m <sup>2</sup> )
R	–	Trocas de calor por radiação (W/m <sup>2</sup> )
C	–	Trocas de calor por convecção (W/m <sup>2</sup> )
K	–	Trocas de calor por condução (W/m <sup>2</sup> )
E	–	Trocas de calor por evaporação (W/m <sup>2</sup> )
RES	–	Calor perdido por respiração (W/m <sup>2</sup> )
t <sub>a</sub>	–	temperatura do ar (°C)
$\bar{t}_r$	–	Temperatura média radiante (°C)
v <sub>a</sub>	–	Velocidade do ar (m/s)
PMV	–	Predicted Mean Vote
PPD	–	Predicted Percentage Dissatisfied (%)
HR	–	Humidade relativa (%)
I <sub>cl</sub>	–	Resistência térmica do vestuário (clo)
t <sub>o</sub>	–	Temperatura operativa (°C)
$\overline{t_{pm}_{out}}$	–	Temperatura média mensal exterior (°C)
T <sub>mp</sub>	–	Temperatura exterior exponencialmente ponderada (°C)
$\Delta t_{a,v}$	–	Diferença de temperatura na vertical (°C)
t <sub>f</sub>	–	Temperatura ao nível do chão (°C)
$\Delta t_{pr}$	–	Assimetria de temperatura radiante (°C)
DR	–	Percentagem de insatisfeitos devido às correntes de ar (%)
Tu	–	Turbulência (%)
V	–	Volume efetivo do espaço (m <sup>3</sup> )
c	–	Concentração em volume do gás traçador (ppm)
Q	–	caudal exterior (m <sup>3</sup> /h)

Rph – renovações horárias ( $\text{h}^{-1}$ )

$t_{nw}$  – Temperatura do bolbo molhado ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_g$  – Temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ )

$p_r$  – Pressão atmosférica (hPa)

$t_h$  – Temperatura ao nível da cabeça ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_b$  – Temperatura ao nível do abdómen ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_k$  – Temperatura ao nível dos tornozelos ( $^{\circ}\text{C}$ )

P – Balanço radiativo ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

## **ACRÓNIMOS**

FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço

ISO – International Organization for Standardization

EUROSTAT – Autoridade Estatística da União Europeia

## **ABREVIATURAS**

APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo

QAI – Qualidade do Ar Interior

IEQ – Indoor Environmental Quality

EN – European Standard

$\text{PM}_x$  – Partículas em suspensão de fração x

COVs- Compostos Orgânicos Voláteis

COVTs – Compostos Orgânicos Voláteis Totais

CO – Monóxido de Carbono

$\text{CH}_2\text{O}$  – Formaldeído

$\text{CO}_2$  – Dióxido de Carbono

$\text{SO}_x$  – Óxidos de enxofre

$\text{NO}_x$  – Óxidos de azoto

$\text{O}_3$  – Ozono

$C_6H_6$  – Benzeno

He – Hélio

$SF_6$  – Hexafluoreto de enxofre

$N_2O$  – Óxido nítrico

UE – União Europeia









# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Durante muito tempo, no dimensionamento e execução dos edifícios apenas se consideravam parâmetros relacionados com a engenharia, a economia e a estética, sendo o principal objetivo a criação de um espaço interior, protegido das condições ambientais exteriores. A evolução das mentalidades e os progressivos avanços tecnológicos conduziram ao aparecimento de novos materiais mais rentáveis, originando novas estruturas. Entretanto surgem também relatos de sintomas manifestados pelos ocupantes associados ao tipo de construção, conduzindo pela primeira vez à preocupação com a qualidade do ambiente interior.

Atualmente este domínio é desde logo abordado na fase de conceção de um edifício, pelos construtores e projetistas, de forma a proporcionar espaços confortáveis e agradáveis ao utilizador, sem descuidar de todas as outras exigências impostas.

A qualidade do ar interior (QAI) e o conforto térmico são dois dos parâmetros da qualidade do ambiente interior, que assumem uma grande importância na perceção de um espaço confortável e saudável e, assim sendo, constituem os alvos de análise deste trabalho.

A qualidade do ar interior está intimamente relacionada com a quantidade de poluentes gerados no interior e exterior de um edifício. No interior as principais fontes de poluição são os materiais utilizados na construção e na envolvente do edifício, bem como os materiais que o compõem no interior. Para além disso a ocupação pelos utilizadores é uma fonte de degradação da qualidade do ar, nomeadamente pelos bioefluentes emitidos. A identificação de todas as possíveis fontes de poluição é fundamental para lidar com a QAI, na medida em que se torna possível atuar de modo a reduzir essas fontes. A ventilação está diretamente associada à qualidade do ar, visto que uma renovação do ar interior adequada permite o fornecimento de ar fresco e remoção dos poluentes interiores.

O conforto térmico é também um dos fatores frequentemente apontado como cada vez mais importante, uma vez que os indivíduos passam a maior parte do tempo dentro dos edifícios devido, essencialmente, a atividades de carácter profissional. Por esse motivo, é fundamental garantir as condições térmicas ideais de forma a não ter repercussões na sua produtividade e garantir o conforto e bem-estar dos ocupantes.

Posto isto, é essencial avaliar estes dois parâmetros por forma a possibilitar uma intervenção que evite, previna ou reduza os impactos nos indivíduos, a curto e longo prazo.

## **1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO**

O presente trabalho tem como principal objetivo a avaliação da qualidade do ambiente interior em dois espaços pertencentes à Portaria Principal do Porto de Leixões, focando-se mais concretamente na avaliação da QAI e do conforto térmico. Para a concretização destes dois objetivos centrais estabeleceram-se um conjunto de tarefas, correspondendo resumidamente a:

- Estudar os poluentes existentes e possíveis fontes de poluição e as suas consequências na saúde humana;
- Reconhecer normas e regulamentos que fixam valores limite destinados a prevenir os efeitos nocivos à saúde humana e que definem métodos para avaliar a qualidade do ar;
- Indicar a importância da ventilação na qualidade do ar de um espaço, bem como técnicas capazes de avaliar as taxas de renovação horárias e os caudais de ventilação;
- Adquirir conhecimentos sobre os parâmetros que influenciam o conforto térmico de um indivíduo e os modelos de avaliação aplicáveis a esses parâmetros;
- Distinguir e reconhecer a existência de desconforto térmico localizado e as suas principais causas;
- Monitorizar a qualidade do ar, através da medição em contínuo dos poluentes exteriores e interiores em dois espaços distintos da Portaria Principal do Porto de Leixões;
- Aplicar a técnica do decaimento do método do gás traçador para avaliar as taxas de ventilação nos espaços em estudo;
- Realizar medições para análise das condições de conforto térmico e existência de desconforto térmico localizado, através da medição de vários parâmetros;
- Elaborar inquéritos, de acordo com as normas existentes, de forma a permitir a análise de outros parâmetros de conforto térmico, bem como obter a perceção térmica dos ocupantes dos espaços em estudo;
- Conhecer a perceção da qualidade do ar dos ocupantes dos espaços interiores, através da realização de inquéritos e posterior comparação com os resultados da monitorização dos poluentes;
- Calcular as concentrações dos poluentes que devem ser analisadas para posterior comparação com os limites impostos pela regulamentação existente e associar possíveis variações de concentração a determinadas causas;
- Estimar as renovações horárias com as diferentes condições fronteiras definidas;
- Aplicar os métodos de avaliação da perceção térmica e das condições de conforto, bem como as causas de desconforto térmico localizado e validar com os resultados obtidos dos inquéritos, analisando criteriosamente os resultados obtidos.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO**

Este trabalho está dividido em seis capítulos, contemplando os seguintes aspetos:

- Capítulo 1 – uma breve introdução, que descreve os conceitos gerais desta dissertação, os seus principais objetivos e as estratégias utilizadas na sua realização. Descreve também a organização e estrutura do texto;
- Capítulo 2 – sumariza a informação sobre o estado atual do conhecimento, sendo realizado uma abordagem mais profunda dos conceitos, nomeadamente acerca da QAI e do conforto térmico. Descreve os principais poluentes interiores e atmosféricos e a legislação atual que indica os valores limite de concentrações. Destaca-se ainda a importância da ventilação sobre este parâmetro. Relativamente ao conforto térmico são identificados os parâmetros que influ-

enciam a percepção térmica de um indivíduo, descrevendo-se posteriormente três modelos de avaliação. Aborda ainda as causas que originam o desconforto térmico localizado e como deve ser avaliado segundo as normas existentes;

- Capítulo 3 – descreve de forma mais detalhada os objetivos deste trabalho. Consiste na descrição da metodologia utilizada, sendo realizado um breve enquadramento do local de estudo e uma caracterização dos espaços interiores onde se realizaram as diferentes medições. Indica-se para cada ensaio (qualidade do ar, ventilação e conforto térmico) as condições e o planeamento seguido, assim como descreve detalhadamente os procedimentos e os equipamentos utilizados;
- Capítulo 4 – apresenta os resultados obtidos nos ensaios da qualidade do ar, nomeadamente através da monitorização dos poluentes e da avaliação da ventilação, assim como os resultados dos inquéritos referentes às perguntas da qualidade do ar. Apresenta ainda uma discussão desses resultados estabelecendo, sempre que possível, comparações entre esses resultados e outras variáveis. No final do capítulo é realizado uma síntese crítica com as principais conclusões obtidas;
- Capítulo 5 – analogamente ao capítulo anterior, este descreve os resultados dos ensaios do conforto térmico, sendo inicialmente realizada uma caracterização do clima exterior. Posteriormente é analisado, com maior detalhe, os resultados dos inquéritos, sendo caracterizada a amostra e analisados os resultados. São também descritos os resultados da aplicação dos métodos de avaliação do conforto térmico e do desconforto térmico localizado. A discussão desses resultados consistiu na comparação e correlação de variáveis e validação dos modelos com os resultados dos inquéritos. Por fim, são sintetizadas as conclusões principais deste ensaio;
- Capítulo 6 – neste capítulo resumem-se as principais conclusões deste trabalho e propõe-se eventuais desenvolvimentos futuros dentro desta área de estudo.



## 2

# QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR

### 2.1. ENQUADRAMENTO

O conceito de qualidade do ambiente interior, denominado em inglês como *Indoor Environmental Quality* (IEQ), tem levado a uma crescente preocupação por parte dos utilizadores dos edifícios devido à sua importância nos efeitos provocados diretamente na saúde humana. A consciencialização em promover um espaço agradável e fresco ocorreu posteriormente à crise petrolífera, período no qual as medidas de poupança de energia potenciaram a degradação da qualidade do ar interior. Estas medidas passaram essencialmente pela redução das taxas de ventilação, nomeadamente, pela tentativa de reduzir as infiltrações do ar, que segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) 62.1 [1] se define como sendo a fuga de ar que ocorre em espaços confinados através de aberturas involuntárias. A colocação de isolamento térmico e a redução da permeabilidade das caixilharias foram exemplos de soluções adotadas que permitiram diminuir as passagens não controláveis de ar e consequentemente diminuir os consumos de energia. Por sua vez, a limitada ventilação dificultou a admissão de ar limpo e, essencialmente, a extração dos poluentes.

É neste contexto que surge o termo qualidade do ar interior (QAI), diretamente relacionado com os poluentes gerados no interior e exterior capazes de empobrecer a qualidade ambiental de um espaço. O IEQ é ainda caracterizado por mais três parâmetros: o Conforto Térmico, o Conforto Visual e o Conforto Acústico. A dificuldade na avaliação destes parâmetros e em prever o impacto na saúde dos ocupantes torna ainda mais complexo a construção de um espaço confortável.

Ao conjunto de sintomas apresentado por pessoas presentes em edifícios, apelidou-se de Síndrome de Edifício Doente (*Sick Building Syndrome*). Estes sintomas resultam da interação dos vários parâmetros da qualidade do ambiente interior, conduzindo, segundo vários estudos, a uma redução significativa na produtividade dos ocupantes [2], [3]. Desta forma, torna-se essencial ter em conta todos os fatores capazes de influenciar a qualidade do ambiente, desde a fase inicial da conceção de um edifício até ao final do ciclo de vida deste, de forma a garantir um bom desempenho e assim cumprir com as exigências dos utilizadores (Figura 1).

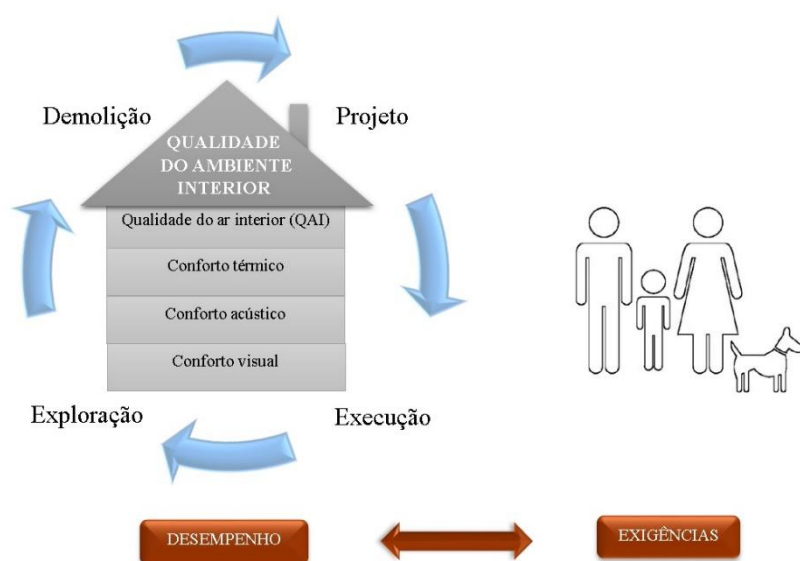


Figura 1 – Parâmetros da qualidade do ambiente interior

Neste capítulo abordar-se-á apenas a qualidade do ar interior e o conforto térmico, dado serem os parâmetros de objeto de estudo deste trabalho.

## 2.2. QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI)

### 2.2.1. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO

A qualidade do ar interior (QAI) não possui nenhuma definição normalizada, apesar de todos os esforços desenvolvidos pelas mais diversas organizações responsáveis pela elaboração de guias e normas que avaliam este parâmetro e que visam a criação de espaços aceitáveis pela maioria dos ocupantes. A ASHRAE 62.1 [1] define a QAI como aceitável aquando da inexistência, no ar, de contaminantes conhecidos em concentrações não nocivas à saúde humana e no qual a maioria dos ocupantes (80% ou mais) não expressem insatisfação. Para além disso, esta norma também define as taxas mínimas de ventilação adequadas para a aceitabilidade do ar e minimização dos efeitos secundários na saúde humana. Foi com base nesta perceção dos indivíduos que durante anos se avaliou a QAI. Sendo assim, torna-se essencial, identificar e localizar todos os fatores capazes de influenciar este parâmetro, nomeadamente os poluentes e as suas origens, possibilitando assim a sua avaliação e posterior implementação de medidas corretivas.

### 2.2.2. PRINCIPAIS POLUENTES INTERIORES

No interior de um edifício ou compartimento é possível reconhecer diversas fontes de poluição internas capazes de gerar os mais distintos poluentes. Os materiais de construção, o equipamento e o mobiliário do próprio edifício e o seu modo de utilização, isto é, a atividade física realizada pelos seus ocupantes, são exemplos de algumas fontes de potencial degradação da QAI.

Dado que grande percentagem do tempo despendido por um indivíduo ocorre no interior dos edifícios, é fundamental garantir que as substâncias produzidas por estas fontes sejam inferiores aos valores máximos regulamentares, de forma a conceber espaços aceitáveis e propícios ao bem-estar humano. Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) [4] e de acordo com a Portaria n.º 353-A/2013



[5], os poluentes que devem ser objeto de avaliação para a caracterização da QAI podem ser divididos em duas categorias: poluentes físico-químicos e microbiológicos. Neste trabalho apenas se descrevem os poluentes físico-químicos, não sendo abordados nem os fungos nem as bactérias (poluentes microbiológicos), uma vez que não foram analisados no âmbito da componente experimental deste trabalho. A APA [4] defende ainda que para uma melhor avaliação da QAI deverá ser realizado, a título adicional, a medição de alguns parâmetros físicos, como a temperatura do ar, a humidade relativa, a velocidade do ar, entre outros.

#### ▪ Poluentes físico-químicos

Relativamente aos poluentes físico-químicos, existem várias normas e regulamentos com valores máximos de concentração permitidos. O Quadro 1 apresenta o limiar de proteção de cada poluente segundo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [5] e a ASHRAE 62.1 [1].

Quadro 1 – Limiar de proteção de poluentes físico-químicos [1],[4],[5]

Poluentes	Unidades	Limiar de proteção	
		RECS <sup>(a)</sup>	ASHRAE 62.1 <sup>(b)</sup>
Partículas em suspensão (fração PM <sub>10</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	50	50
Partículas em suspensão (fração PM <sub>2,5</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	25	15
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVTs)	[µg/m <sup>3</sup> ]	600	-
Monóxido de Carbono (CO)	[mg/m <sup>3</sup> ]	10	-
	[ppm]	9	9
Formaldeído (CH <sub>2</sub> O)	[µg/m <sup>3</sup> ]	100	9
	[ppm]	0,08	0,081 (30 min)
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	[mg/m <sup>3</sup> ]	2250	-
	[ppm]	1250	-
Radão <sup>(c)</sup>	[Bq/m <sup>3</sup> ]	400	800 (1 ano)

(a) As concentrações referem-se a uma temperatura de 20° C, a uma pressão de 1 atm (101,325 kPa) e a uma média de exposição de 8 horas;

(b) Os valores de concentração correspondem à seleção de um conjunto de normas internacionais e são listadas apenas por referência;

(c) Este composto é de análise obrigatória em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

As Partículas em Suspensão no Ar (PM<sub>x</sub>) são um dos grandes contaminantes do ar interior e também constituem um dos mais importantes poluentes atmosféricos, sendo desta forma abordados mais em pormenor na secção §2.2.3.

Os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) são um exemplo de um poluente químico, do qual fazem parte todos os compostos orgânicos que contenham até dezassete carbonos na sua constituição molecular. Este composto apresenta um ponto de ebulição de 250 °C, sendo que à temperatura ambiente

encontra-se na fase gasosa. A emissão de COVs no interior de edifícios deriva maioritariamente dos materiais utilizados na construção, do mobiliário e equipamento de escritório (impressoras), dos produtos de limpeza, bem como dos produtos de higiene pessoal. De referir que estas substâncias também poderão derivar de fontes exteriores, tal como da poluição provocada pelos automóveis. No entanto, o nível de exposição em ambientes domésticos e de escritórios chega a ser 2 a 100 vezes superior aos níveis encontrados no exterior [6].

A avaliação deste poluente para efeitos da saúde humana apresenta alguma complexidade. Alguns estudos já realizados [2] demonstraram que a emissão deste composto é afetada pela humidade relativa do ar e influenciada pelas atividades realizadas no local, variando a concentração ao longo do espaço e no tempo. Para além disso, há uma vasta gama de COVs, capazes de gerar efeitos combinados entre si [2]. A impossibilidade em definir todos os efeitos nocivos para a saúde e em quantificar os limites máximos de todos os compostos, levou à definição do parâmetro de compostos orgânicos voláteis totais (COVTs). No caso de se exceder o valor máximo deste parâmetro, o RECS [5] estabelece que se deve avaliar um conjunto de componentes (Benzeno, Tricloroetileno, Tolueno, Estireno, Tetracloroetileno) e garantir que possuem concentrações inferiores ao limiar de proteção definidos nesse regulamento.

O Monóxido de Carbono (CO) deriva principalmente do incompleto processo de combustão, tendo também origem na exaustão dos carros. Desta forma, edifícios próximos de vias de comunicação com bastante tráfego podem ser afetados por este poluente [2].

O Formaldeído apesar de se tratar de um COV é analisado separadamente pelo facto de ser muito volátil e apresentar um baixo peso molecular, o que não permite que seja avaliado da mesma forma que os restantes compostos orgânicos voláteis. Por sua vez, houve a necessidade de quantificar valores máximos de concentração deste poluente, visto que mesmo baixos níveis de concentração são capazes de causar irritação nos olhos, no nariz e na garganta. O odor produzido é uma das características do formaldeído, permitindo uma fácil deteção pelos ocupantes. As fontes de emissão deste composto poderão ser de carácter intermitente ou permanente, estando na base da sua ocorrência materiais de madeira tratada, espumas para isolamento, carpetes, tintas, desinfetantes, colas, entre outros [2], [4], [5].

Relativamente ao Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), trata-se de um gás inodoro e incolor, sendo que a principal fonte de emissão no interior de edifícios é resultante dos bioefluentes humanos, estando diretamente relacionado com o tamanho corporal e com o nível de atividade física do indivíduo.

Usualmente, os níveis de concentração em espaços interiores são mais elevados do que em espaços exteriores, sendo que neste último a concentração varia entre 300 a 500 partes por milhão [ppm]. A diferença entre os níveis de concentração interior e exterior fornecem uma indicação sobre a aceitabilidade do ar e a taxa de ventilação de um edifício. No entanto, revela-se um mau indicador da QAI, uma vez que é difícil identificar todas as fontes de emissão e remoção deste gás, capazes de influenciar a perceção dos indivíduos e conduzindo, assim, a resultados não fidedignos.

O radão é outro poluente físico-químico, no entanto não será objeto de análise neste trabalho, sendo possível consultar os métodos de avaliação deste parâmetro através da *International Organization for Standardization* (ISO) 11665 [7].

### 2.2.3. PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A QAI não é apenas afetada pelas fontes de poluição interior e pelo modo de utilização dos edifícios, mas também pela interação com o ambiente exterior. Esta questão é relevante porque um edifício, para além de possuir aberturas destinadas à passagem de fluxo de ar, apresenta sempre alguma permeabilidade ao ar. Desta forma torna-se essencial ter conhecimento dos principais poluentes atmosféricos capazes de prejudicar o ar interior. A *European Standard* (EN) 13779 [8] e o Decreto-Lei n.º 102/2010 [9] definem alguns dos principais poluentes atmosféricos a ter em consideração na avaliação da qualidade do ar ambiente, sendo eles, os Óxidos de Enxofre ( $\text{SO}_x$ ), os Óxidos e Dióxidos de Azoto ( $\text{NO}_x$ ), o Ozono ( $\text{O}_3$ ), o Monóxido de Carbono (CO), o Benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) e as Partículas em Suspensão ( $\text{PM}_x$ ).

As Partículas em Suspensão ( $\text{PM}_x$ ) são um dos poluentes atmosféricos considerados mais graves para a saúde pública, podendo ter origem antropogénica (poluição do automóvel, processos de combustão em grandes indústrias, fumo de tabaco, entre outras) ou origem natural (erupções vulcânicas, sismos, incêndios florestais). Por sua vez, estas partículas têm a particularidade de serem transportadas pelo ar e conseguem percorrer grandes distâncias relativamente ao local de emissão. Estas partículas podem ser divididas em duas classes: partículas finas ou respiráveis ( $\text{PM}_{2,5}$ ) e partículas grosseiras ou torácicas, cuja maior dimensão corresponde a  $10\text{ }\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ). As primeiras apresentam maior capacidade em permanecer longos períodos no ar, podendo penetrar no sistema respiratório e as segundas ficam normalmente retidas no nariz ou traqueia [10].

O Monóxido de Carbono (CO) e o Benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) são dois dos poluentes físico-químicos citados anteriormente, que para além da possibilidade de serem gerados no interior dos edifícios, são também de grande interesse na avaliação da qualidade do ar ambiente dado o seu grande contributo para a poluição do ar exterior, derivando maioritariamente da poluição provocado pelos automóveis.

O Ozono ( $\text{O}_3$ ) é o composto mais importante da estratosfera, na medida em que protege da infiltração da radiação ultravioleta, no entanto, passa a ser preocupante o excesso deste composto na camada mais baixa da atmosfera, isto é, na troposfera. Constitui um grave poluente atmosférico, sendo originário de reações fotoquímicas com outros compostos, nomeadamente da reação com os Óxidos de Azoto ( $\text{NO}_x$ ) e com os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs). Períodos longos de sol conduzem ao aumento dos níveis deste poluente e consequentemente ao aumento de sintomas registados na saúde, essencialmente a problemas do foro respiratório [11].

Os Óxidos de Azoto ( $\text{NO}_x$ ) têm origem antropogénica, nomeadamente, no processo de combustão. Desse processo surge maioritariamente monóxido de azoto (NO), que posteriormente reage com os oxidantes da atmosfera produzindo o Dióxido de Azoto ( $\text{NO}_2$ ). Indivíduos expostos, num curto período de tempo, a concentrações superiores a  $200\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$  podem sofrer de inflamação das vias respiratórias [11]. Este poluente constitui um perigo para a saúde humana, sendo facilmente detetável pelo seu odor.

De realçar que os diferentes poluentes atmosféricos citados têm consequências diferentes na saúde humana, sendo que o tempo de exposição também é uma variável muito importante em termos de efeitos provocados. O Decreto-Lei n.º 102/2010 [9] define valores limites para a proteção humana, para alguns desses poluentes atmosféricos, a serem avaliados conforme o período de exposição mais crítico (Quadro 2).

Quadro 2 – Valor limite de alguns poluentes atmosféricos [9]

Poluente atmosférico	Unidades		Valor limite
Dióxido de Azoto (NO <sub>2</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	Valor máximo horário	200
Monóxido de Azoto (NO)	[µg/m <sup>3</sup> ]	Concentração média anual	-
Partículas em Suspensão (fração PM <sub>10</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	Concentração média diária	50
Benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	Concentração média anual	5
Monóxido de Carbono (CO)	[mg/m <sup>3</sup> ]	Concentração das médias octo-horárias	10
Ozono (O <sub>3</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	Concentração das médias octo-horárias	20

Na Figura 2 está ilustrada a variação da emissão de alguns poluentes atmosféricos na União Europeia entre 1990 e 2014. Por análise da Figura 2, é possível verificar um decrescimento da emissão de todos os poluentes, essencialmente nos óxidos de enxofre (redução de 90%). A principal causa da redução deste poluente baseia-se na utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre, por parte dos setores ligados à energia, nomeadamente na aplicação de gás natural [12].

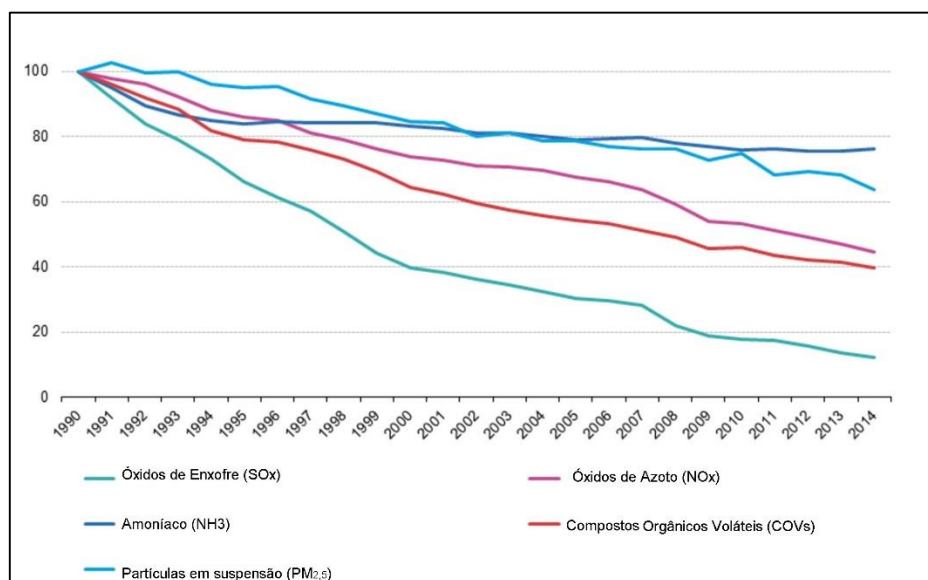


Figura 2 – Variação, em percentagem, da emissão dos poluentes atmosféricos na UE entre 1990 e 2014, adaptado de [12]

### 2.2.5. TÉCNICAS PARA AVALIAR A QAI

A aceitabilidade da QAI nem sempre é consensual. Este é desde logo um dos parâmetros que dificulta uma rigorosa e precisa avaliação deste conceito. A melhor forma de conseguir avaliar a QAI pressupõe a medição de todos os poluentes que se encontram num espaço e respetiva comparação com os limites máximos definidos. No entanto, mesmo esta medição apresenta vários obstáculos que impedem a classificação da qualidade do ar de um espaço, nomeadamente [1], [13]:

- A diversidade e complexidade dos poluentes existentes num espaço e a sua capacidade em afetar a saúde humana, mesmo em concentrações muito baixas;
- A variedade de efeitos prejudiciais na saúde humana;
- Os diferentes sintomas que um único poluente pode provocar em diferentes pessoas;
- A questão se os poluentes que estão a ser medidos são os que mais afetam os ocupantes;
- A quantidade de fatores que afetam a perceção e aceitabilidade da qualidade do ar, como a temperatura, a humidade, o ruído, entre outros;
- Falta de requisitos para avaliar e monitorizar a QAI.

Em 1930, Yaglou utilizou os sentidos olfativos e químicos dos humanos como ferramenta para avaliar os efeitos sensoriais sobre eles devido à emissão dos vários poluentes interiores e exteriores e assim avaliar a QAI. Mais tarde, Fanger introduziu duas unidades de medida sensoriais, o “olf” e o “decipol”, que permitiram estimar, com alguma limitação, os requisitos de ventilação para obter uma determinada qualidade do ar aceitável. A unidade “olf” corresponde à quantidade de poluição libertada, sendo que 1 olf diz respeito à quantidade de bioefluentes emitidos por uma pessoa padrão, isto é, com uma sensação térmica neutra e em atividade sedentária. É possível converter esta unidade para qualquer outra fonte de poluição não proveniente do ser humano, sendo que o número de “olfs” corresponderá ao número de pessoas padrão necessárias para tornar o ar igualmente desagradável. O nível de perceção da poluição é dado pelo “decipol”, sendo que neste caso 1 decipol corresponderá à perceção que um indivíduo possui num espaço com uma carga sensorial de 1 olf e uma taxa de ventilação de 10 l/s [14]. No entanto, não existem instrumentos de medida que permitem obter o valor destas variáveis, podendo recorrer-se a escalas de aceitabilidade (ACC) para determinar a percentagem de insatisfeitos com a qualidade do ar, através da seguinte equação:

$$PD = \frac{e^{-0,18-5,28 \cdot ACC}}{1 + e^{-0,18-5,28 \cdot ACC}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (1)$$

Com este fator definido é possível correlacioná-lo com o nível de perceção da QAI, isto é, com o “decipol” (Figura 3).

Dado que 1 decipol corresponde a 0,1 olf/ (l/s) é possível obter o caudal de ventilação de um espaço, dividindo este valor pelo número de olfs produzidos no local. O Quadro 3 apresenta um conjunto de valores para a quantidade de poluição libertada por um ocupante em função da atividade exercida.

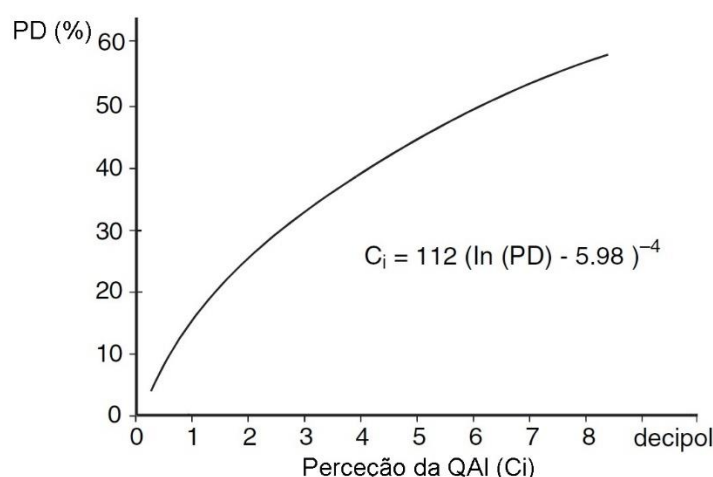


Figura 3 – Relação entre a percentagem de insatisfeitos com a qualidade do ar e o nível de percepção (decipol), adaptado de [14]

Quadro 3 – Quantidade de poluição libertada por um indivíduo em função da atividade física [14]

Fonte	Número de olfs/ocupante
Adulto em atividade sedentária	1
Adulto com baixo nível de atividade física (3 met)	4
Adulto com nível médio de atividade física (6 met)	10
Adulto com elevado nível de atividade física, atletas (10 met)	20
Crianças 3-6 anos (2,7 met)	1,2
Crianças 14-16 anos (1-1,2 met)	1,3

A obtenção de um caudal de ventilação apropriado permite uma eficaz remoção dos contaminantes. O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [5], para além de definir os valores máximos de concentração dos poluentes, como indicado anteriormente, também possui um outro requisito, nomeadamente a garantia de um caudal mínimo de ar novo. No caso da diluição da carga poluente causada pelos ocupantes do espaço, este regulamento define um valor de caudal mínimo de ar novo de  $20 \text{ m}^3/(\text{h.pessoa})$  para uma atividade sedentária e destinado a um local de serviço.

De notar que a ventilação é, obviamente, um parâmetro fundamental para avaliar a QAI, sendo um dos melhores métodos para tornar os espaços agradáveis e proporcionar conforto aos utilizadores, com a necessária compatibilização com a componente térmica e consequente impacto nos consumos energéticos. Para além de uma boa taxa de ventilação permitir a remoção dos poluentes e por sua vez o fornecimento de ar limpo, também tem controlo sobre a humidade relativa e a temperatura. Estes dois parâmetros são capazes de influenciar a produção dos poluentes, quando possuem valores fora dos intervalos definidos como confortáveis, na medida em que desencadeiam a libertação de uma maior quantidade de gases pelas fontes de poluição, conduzindo posteriormente a problemas de saúde [2].

Neste trabalho utilizou-se o Método do Gás Traçador para avaliar as renovações horárias e os respetivos caudais de ventilação e por sua vez avaliar a QAI. Este método, como o próprio nome indica, consiste na utilização de um gás traçador, sendo registada a evolução temporal da sua concentração, estando diretamente associada às trocas de ar que ocorrem entre o interior e o exterior. O recurso a um gás traçador é necessário por forma a conseguir “marcar” o ar com uma substância que não está habitualmente presente no ambiente e assim permitir o registo evolução da sua concentração. A ISO 16000-8 [15] define um conjunto de requisitos que os gases traçadores devem possuir, designadamente:

- Ser inofensivo à saúde humana nas concentrações utilizadas;
- Não apresentar odores, ser estável, quimicamente inerte e insípido;
- Não ser adsorvível por paredes, mobiliário e outras superfícies;
- Não ser inflamável ou explosivo;
- Não estar presente no ar interior ou exterior;
- Caso esteja presente no ambiente interior, apresentarem concentrações mais baixas que as utilizadas com o gás traçador;
- Não ter efeitos prejudiciais no ambiente;
- Fácil transporte e manutenção.

Não é possível obter um gás traçador ideal, isto é, que cumpra com todos os requisitos mencionados anteriormente, sendo que a sua escolha dependerá da facilidade na sua obtenção e no procedimento a utilizar. O Quadro 4 apresenta quatro tipos de gases mais utilizados neste método, juntamente com os valores máximos de concentração permitidos.

Quadro 4 – Máxima concentração permitida de alguns gases traçadores [16]

<b>Gás traçador</b>	<b>Símbolo químico</b>	<b>Máxima concentração permitida (ppm)</b>
Hélio	He	-
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	5000
Hexafluoreto de enxofre	SF <sub>6</sub>	1000
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	25-100

O Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>) foi o gás traçador utilizado para a medição das renovações horárias nos locais em estudo neste trabalho. Quanto aos procedimentos deste método, a ISO 12569 [16] destaca três técnicas, sendo elas a técnica da concentração decrescente ou decaimento, a técnica da injeção constante e a técnica da concentração constante. No capítulo seguinte (capítulo §3 da Metodologia) será abordada mais ao pormenor a técnica do decaimento (técnica utilizada neste trabalho).

## 2.3. CONFORTO TÉRMICO

A qualidade de um edifício, seja ele residencial, de serviços ou industrial, revela-se não só pelos seus atributos físicos, mas também e, não menos importante, pela satisfação das exigências dos ocupantes que o vão utilizar. Esta satisfação permite aos indivíduos usufruírem corretamente do espaço a que se destina, proporcionando desta forma uma sensação de conforto.

Segundo a ASHRAE 55 [17], o conforto térmico é definido como *a condição da mente que expressa a satisfação com o ambiente térmico e é avaliado subjetivamente*. Esta avaliação resultará da sensação térmica que um indivíduo possuirá no seu corpo como um todo. A principal função da termorregulação é manter o corpo dentro de uma determinada gama de temperatura por forma a permitir o adequado funcionamento dos órgãos. Este mecanismo procurará manter o equilíbrio térmico quando sujeito a novos ambientes. A procura de equilíbrio resultará em trocas de energia, envolvendo três parâmetros: o calor produzido pelo corpo humano, o calor transferido para o ambiente e o calor armazenado pelo corpo. Fanger, com base nestes termos definiu uma equação que representa o equilíbrio de calor do corpo humano [18]:

$$S=M+W\pm R\pm C\pm K\pm E-RES \quad (2)$$

Em que S, representando o calor armazenado pelo corpo será dado conforme a equação (2) pelo somatório do próprio calor produzido com as parcelas responsáveis pelas transferências de calor com o ambiente. Daí resultam a taxa de metabolismo (M), o trabalho mecânico produzido pelo corpo humano (W), as trocas de calor por radiação (R), as trocas de calor devido à convecção (C), as trocas de calor por condução (K), as trocas de calor por evaporação (E) e por fim, o calor perdido pela respiração (RES). De salientar que os parâmetros R, C, K e E podem ser positivos ou negativos, conforme seja ganho ou perda de calor. Sempre que este somatório for nulo, isto é,  $S=0$ , o indivíduo encontra-se em equilíbrio térmico com o ambiente, possuindo uma sensação térmica neutra. Esta equação resulta da interação de seis fatores, sendo quatro deles de índole ambiental (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade do ar) e dois deles de índole individual (atividade metabólica e a resistência térmica do vestuário). O próximo subcapítulo abordará mais ao pormenor estes parâmetros, bem como fará referência sobre outros, que se têm revelado importantes, uma vez que conduzem a consideráveis discrepâncias entre o modelo proposto por Fanger e outros estudos empíricos [18].

### 2.3.1. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONFORTO TÉRMICO

#### 2.3.1.1. Parâmetros ambientais

A temperatura do ar ( $t_a$ ) trata-se de uma das variáveis mais intuitivas e que influencia diretamente o conforto térmico de um indivíduo. Este parâmetro é imediatamente retirado das leituras do equipamento de medição, correspondendo de acordo com a ISO 7726 [19] à temperatura do ar que circula em redor do corpo humano e é expresso em graus Celsius (°C). Este parâmetro representa a temperatura do bolbo seco e, na equação (2), corresponde à parcela de transferência de calor que ocorre por convecção entre o corpo humano e o ambiente térmico. De realçar que temperaturas do ar muito distantes ou próximas do indivíduo em estudo não serão representativas do fluxo de calor em causa [20].



Relativamente à temperatura média radiante ( $\bar{t}_r$ ) a sua determinação é realizada com o auxílio de um termómetro de globo negro, expressando-se o seu valor em graus Celsius (°C). A ASHRAE 55 [17] define este parâmetro como a temperatura uniforme superficial de um compartimento negro que, por sua vez, corresponde à mesma quantidade de calor trocada por radiação por um ocupante num ambiente real. O valor retirado diz respeito ao corpo inteiro de um indivíduo e é obtido com a observação simultânea da temperatura do globo ( $t_g$ )<sup>1</sup>, da temperatura do ar e da velocidade do ar que rodeia o globo.

A velocidade do ar ( $v_a$ ) é definida como o fluxo de ar capaz de alterar a temperatura de um indivíduo, provocado pelas transferências de calor por convecção e evaporação entre o ambiente e o corpo humano. Este parâmetro é definido pela sua magnitude e direção, no entanto sofre de constantes variações no tempo, no espaço e na direção. Para além de influenciar a sensação térmica dos ocupantes, é também associada ao desconforto térmico localizado provocado pelas correntes de ar [19]. Segundo a ISO 7730 [21] um aumento da velocidade do ar pode derivar de ações realizadas por um indivíduo na tentativa de equilibrar um possível aumento de temperatura, como por exemplo a abertura de uma janela, sendo que não há valores mínimos para este parâmetro por forma a garantir o conforto térmico.

Por fim, a humidade do ar é considerada um parâmetro básico que influencia a taxa de calor perdida por evaporação de uma pessoa. Pode ser expressa como humidade relativa ou absoluta, sendo que esta última está relacionada com a quantidade real de água contida num determinado espaço de ar, comumente expressa como a pressão parcial de vapor de água ( $p_a$ ) [20]. Esta variável pode ser obtida conhecendo a humidade relativa do espaço e a pressão de saturação. Para temperaturas moderadas (<26 °C) e níveis de atividades moderadas (<2 met), este parâmetro exerce pouca influência no conforto térmico global, verificando-se um maior impacto à medida que estas condições aumentam [21].

#### 2.3.1.2. Parâmetros individuais

A determinação da atividade metabólica (M) é fundamental para a avaliação do conforto térmico. Este parâmetro está diretamente relacionado com o nível de atividade física e com a superfície corporal de um indivíduo. Segundo a ASHRAE 55 [17], representa a *taxa de transformação de energia química em calor e trabalho mecânico por atividades metabólicas de um indivíduo, por unidade de área superficial da pele*. A unidade de referência é o “met”, sendo que 1 met corresponde à energia produzida por uma pessoa sentada em estado de repouso (1 met = 58,2 W/m<sup>2</sup>). A ASHRAE 55 [17] e a ISO 7730 [21] apresentam tabelas com taxas de metabolismo associadas às diferentes atividades físicas. Estes valores devem ser ajustados no caso de o estudo não ser aplicado em adultos. Para além disso, há que ter o cuidado de, num mesmo espaço, distinguir as diferentes atividades metabólicas e não considerar a média desses valores. A ISO 8996 [22] fornece um conjunto de métodos para a determinação deste parâmetro.

---

<sup>1</sup> A temperatura do globo corresponde à temperatura de uma das sondas (termómetro globo) do equipamento de medição do conforto térmico.

Quanto à resistência térmica do vestuário ( $I_{cl}$ ), representa, como o próprio nome indica, uma resistência à transferência de calor do corpo humano para o ambiente. O vestuário tem assim um papel fundamental, na medida em que funciona como um protetor dos mais variados ambientes, tentando manter o corpo num estado de equilíbrio e fornecer, deste modo, uma sensação térmica neutra ao indivíduo. O seu valor é expresso em “clo,” no qual 1 clo representa  $0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  e corresponde a um homem de fato. Este parâmetro pode ser obtido através da consulta das tabelas da ASHRAE 55 [17] e da ISO 7730 [21], no qual estão representados um conjunto de combinações de vestuário pré-definidos. Por outro lado, também é possível associar a cada peça de roupa uma resistência térmica ( $I_{clu}$ ), sendo que a resistência térmica total do indivíduo corresponde ao somatório de todas as peças de roupa que possui. Para além disso, as normas anteriormente indicadas referem a possibilidade de acrescentar ou corrigir este valor no caso da pessoa se encontrar sentada ou em movimento.

### 2.3.1.3. Outros parâmetros

Para além dos seis fatores que, segundo Fanger [23], constituem o requisito mínimo para avaliação do conforto térmico, estudos posteriores revelaram a importância na consideração de outros parâmetros capazes de influenciar a sensação e a perceção térmica de um indivíduo. A estes parâmetros estão associados comportamentos humanos com vista à melhoria da satisfação com o ambiente, isto é, a procura do ajuste entre o ambiente térmico e as necessidades fisiológicas humanas, de forma a evitar o desconforto. O conjunto de adaptações provenientes dos indivíduos designam-se como *oportunidades adaptativas*, podendo distinguir-se três categorias:

- Adaptação física;
- Adaptação fisiológica;
- Adaptação psicológica.

A adaptação física envolve dois tipos: o reativo e o interativo. A primeira engloba todas as alterações a nível pessoal, como, por exemplo, mudança no vestuário, na postura, na posição relativamente a um espaço, no consumo de bebidas quentes ou frias no esforço de alterar o calor metabólico, entre outras. Relativamente às adaptações interativas, estas resultam em medidas aplicadas ao ambiente, de forma a melhorar as condições de conforto, como é o caso de abertura de janelas e portas, alteração da temperatura e acionamento dos sistemas mecânicos de climatização.

Quanto ao tipo de adaptação fisiológica, esta está diretamente associada à capacidade do organismo se ajustar às condições térmicas (aclimatização fisiológica).

As diferentes perceções obtidas por um conjunto de indivíduos num mesmo espaço designam-se como adaptações psicológicas, e resultam da combinação de vários fatores, nomeadamente da idade, do género, da cultura, do tempo de exposição num local, da expectativa relativamente a um lugar, do conhecimento no controlo do ambiente interior, das experiências, entre muitos outros, que podem conduzir a opiniões discrepantes relativamente a um mesmo ambiente [23].

### 2.3.2. MODELOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Os vários modelos existentes para a avaliação do conforto térmico, analítico e adaptativos, distinguem-se na utilização de diferentes parâmetros como influenciadores da sensação térmica de um indivíduo. O modelo analítico faz uso exclusivo dos parâmetros ambientais e individuais, enquanto os modelos adaptativos têm em consideração as adaptações que o ser humano vai efetuando de forma a ajustar-se ao ambiente térmico e também à influência das condições meteorológicas exteriores na perceção térmica face ao ambiente interior. Em contraposição ao modelo analítico, que fornece dados

relativamente à sensação térmica dos ocupantes, os modelos adaptativos definem condições térmicas de modo a que se verifique uma elevada percentagem de pessoas satisfeitas com o local [18].

#### 2.3.2.1. Modelo analítico

O modelo analítico surge como o resultado de experiências, realizadas por Fanger, a uma vasta quantidade de indivíduos e pela consulta de dados anteriormente publicados, utilizando indivíduos com diferentes níveis de atividade física [18]. Com esses resultados e juntamente com a equação de equilíbrio (equação (2)), Fanger definiu uma escala de 7 pontos que definem diferentes graus de sensações térmicas (Quadro 5).

Quadro 5 – Escala de conforto térmico [17],[21]

Muito Frio	Frio	Ligeiramente Frio	Neutro	Ligeiramente Quente	Quente	Muito Quente
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

A esta escala está associada um índice, denominado como *Predicted Mean Vote* (PMV), em que o seu valor corresponde a um voto médio de sensação térmica de um conjunto de pessoas num determinado ambiente [18]. Na ISO 7730 [21] é possível consultar a formulação matemática, que define este índice em função dos quatro parâmetros ambientais e dos dois parâmetros individuais. Adicionalmente, a ISO 7730 [21] fornece um conjunto de tabelas com diferentes combinações de níveis de atividade física, temperatura operativa, velocidade do ar e resistência térmica do vestuário, para a obtenção do índice PMV. De realçar que estas tabelas são aplicadas para ambientes com uma humidade relativa de 50%, contudo, segundo esta mesma norma, é possível ignorar este parâmetro quando se trata de ambientes moderados, dada a sua reduzida influência na análise da sensação térmica.

O *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) é outro índice deste modelo, representando quantitativamente a percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas com o local [21]. Fanger foi capaz de correlacionar o índice PMV com o PPD, segundo a seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-0,03353 PMV^{-4} - 0,2179 \cdot PMV^{-2}} \quad (3)$$

Na Figura 4 está representado o gráfico resultante da equação (3).

É possível observar que para um ambiente térmico ideal, isto é, para uma sensação térmica média neutra (PMV=0), a percentagem de insatisfeitos não é nula, mas sim de 5%. O valor de PPD vai aumentando de igual forma para sensações térmicas mais frias ou mais quentes.

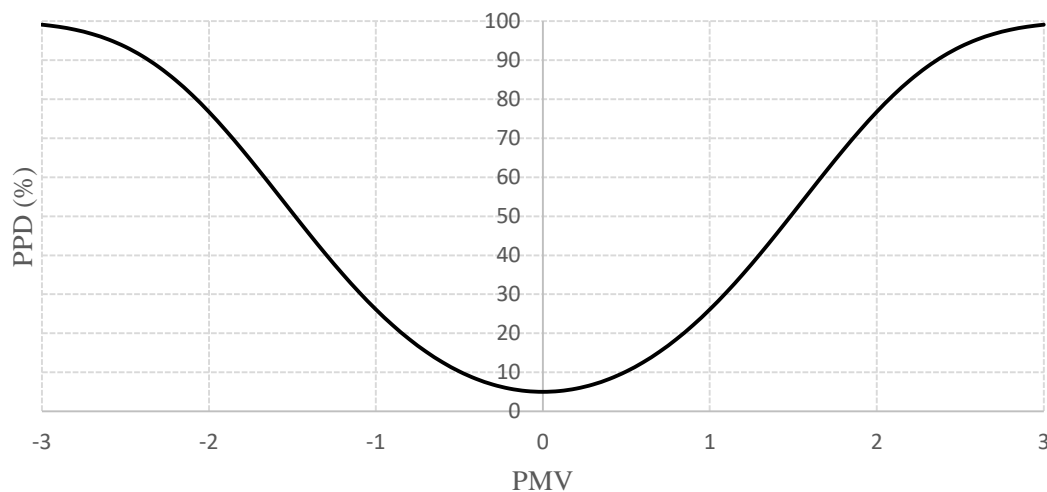


Figura 4 – Relação entre os índices PMV e PPD, adaptado de [21]

Estes índices são utilizados pela ISO 7730 [21] e pela ASHRAE 55 [17] para definir três categorias do ambiente interior, sendo que um ambiente térmico desejável corresponde àquele que cumprir com as condições definidas e apresentadas Quadro 6.

Quadro 6 – Categorias do ambiente térmico [17], [21]

<b>Categoria</b>	<b>PPD (%)</b>	<b>PMV</b>
A	<6	-0,2 < PMV < +0,2
B	<10	-0,5 < PMV < +0,5
C	<15	-0,7 < PMV < +0,7

\*a ASHRAE nomeia as categorias da seguinte forma: I, II, III

Relativamente às diferentes categorias, a sua distinção baseia-se no nível de exigência de sensação térmica, correspondendo a categoria A a uma elevada exigência, sendo recomendado para espaços frequentados por pessoas sensíveis, nomeadamente, idosos, crianças e pessoas incapacitadas; a categoria B corresponde a edifícios novos ou reabilitados com um normal nível de exigência; e, por fim, a categoria C que diz respeito a edifícios existentes, com um moderado nível de exigência de sensação térmica [17].

#### 2.3.2.2. Modelos adaptativos

Quanto aos modelos adaptativos, a ASHRAE 55 [17] propõe um modelo baseado na relação entre dois parâmetros, a temperatura operativa ( $t_o$ ) e a temperatura média mensal exterior ( $t_{pma,out}$ ). A primeira pode ser obtida através da equação (4), sendo que a temperatura média mensal exterior, como o próprio nome indica, corresponde à média da temperatura do ar dos últimos trinta dias do dia em questão.

$$t_o = A t_a + (1 - A) \bar{t}_r \quad (4)$$

Em que:

$t_o$  – temperatura operativa (°C),

$t_a$  – temperatura do ar (°C),

$\bar{t}_r$  – temperatura média radiante (°C).

Quanto ao parâmetro A, é definido em função da velocidade do ar (Quadro 7).

Quadro 7 – Parâmetro A em função da velocidade do ar [17]

$v_a$ (m/s)	<0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 1
<b>A</b>	0,5	0,6	0,7

Definidos os parâmetros da temperatura operativa e da temperatura média mensal exterior, a ASHRAE 55 [17] permite verificar se estes valores estão dentro das condições ambientais aceitáveis para 80% ou 90% dos ocupantes. Estes limites de aceitabilidade resultam das expressões indicadas no Quadro 8. Por sua vez, a representação gráfica destas equações está ilustrada na Figura 5, encontrando-se a sombreado a gama de aceitabilidade para 90%.

Quadro 8 – Limites máximos de aceitabilidade [17]

	<b>Limite máximo</b>	<b>Limite mínimo</b>
80%	$0,31\bar{t}_{pm_{out}} + 21,3$	$0,31\bar{t}_{pm_{out}} + 14,3$
90%	$0,31\bar{t}_{pm_{out}} + 20,3$	$0,31\bar{t}_{pm_{out}} + 15,3$

\*os limites de 90% de aceitabilidade são definidos a título adicional

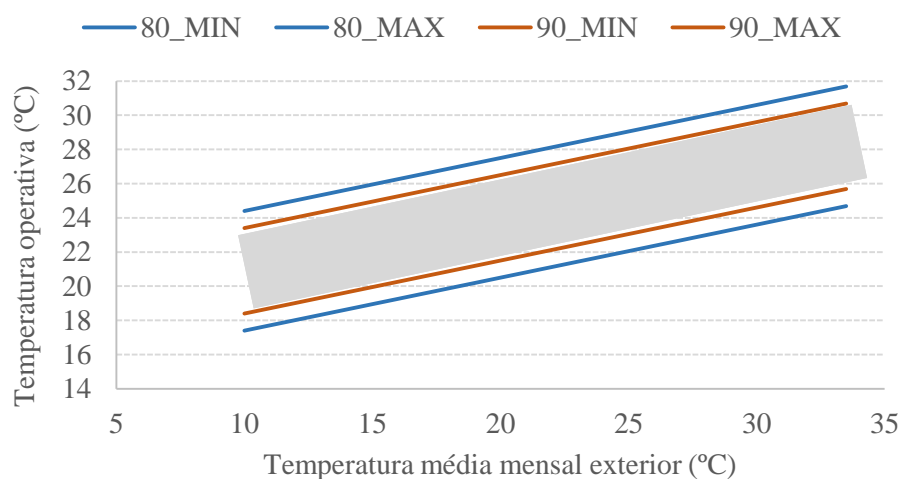


Figura 5 – Modelo adaptativo da ASHRAE 55, adaptado de [17]

É de salientar que este modelo apenas pode ser aplicado sob as seguintes condições:

- Não possuir sistemas mecânicos de arrefecimento;
- A taxa de metabolismo estar dentro do intervalo 1,0 a 1,3 met;
- A resistência térmica do vestuário não ser inferior a 0,5 clo, nem superior a 1,0 clo;
- A temperatura média mensal exterior tem de estar compreendida entre 10 °C e 33,5 °C.

A norma EN15251 [24] sugere um outro modelo de avaliação utilizando igualmente a temperatura operativa, no entanto, correlacionando com a temperatura exterior exponencialmente ponderada ( $T_{mp}$ ):

$$T_{mp} = \frac{T_{n-1} + 0,8 \cdot T_{n-2} + 0,6 \cdot T_{n-3} + 0,5 \cdot T_{n-4} + 0,4 \cdot T_{n-5} + 0,3 \cdot T_{n-6} + 0,2 \cdot T_{n-7}}{3,8} \quad (5)$$

Em que:

$T_{n-i}$  – temperatura média exterior do dia (i) anterior

De acordo com a equação (5), a temperatura exterior exponencialmente ponderada faz uso dos últimos 7 dias relativamente ao dia em análise, atribuindo diferentes pesos.

Este modelo é aplicado para edifícios sem sistemas mecânicos de arrefecimento, com principal permanência de pessoas com atividades sedentárias, no qual possuam facilidade em se adaptar às condições ambientais, nomeadamente, adaptar o seu vestuário bem como a possibilidade em adotar comportamentos que condicionem o meio ambiente (abrir janelas ou portas, por exemplo). A norma permite que o edifício esteja dotado de ar condicionado, no entanto, frisa que deverá ser através da abertura e fecho das janelas o principal meio de regulação das condições térmicas [24]. A Figura 6 apresenta os limites inferiores e superiores de aceitabilidade para as diferentes categorias na estação de arrefecimento.

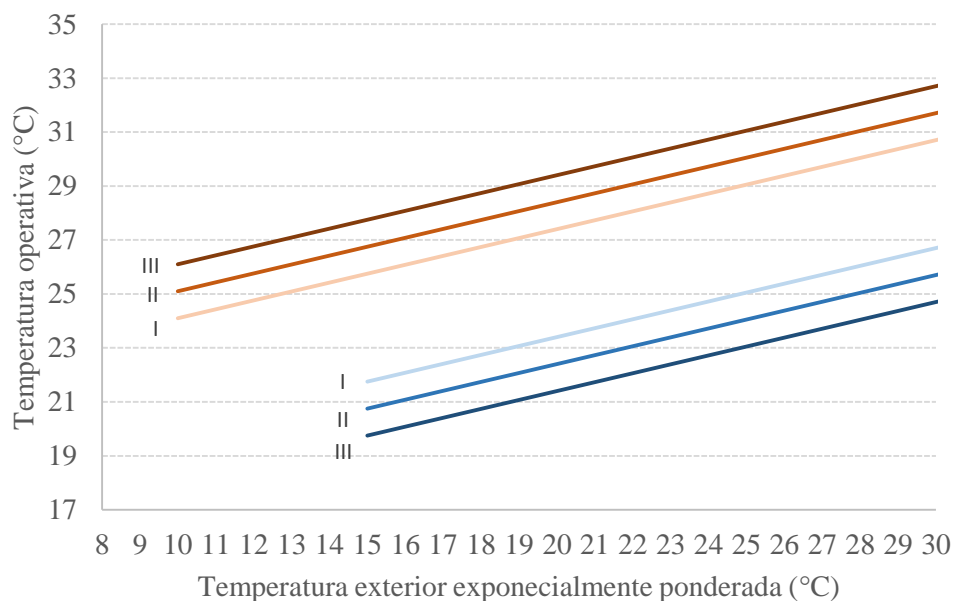


Figura 6 – Modelo adaptativo da EN 15251, adaptado de [24]

### 2.3.3. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO

O desconforto térmico não está unicamente associado ao desconforto do corpo como um todo. Mesmo que um indivíduo possua uma sensação térmica neutra ( $S=0$ ), é possível que não esteja em conforto térmico com uma determinada parte do corpo. Surge então o conceito de desconforto térmico localizado.

Segundo a ISO 7730 [21], as pessoas com atividades sedentárias ligeiras são as mais sensíveis ao desconforto local, verificando-se que à medida que aumenta o nível de atividade física, menor é a sensibilidade a estes efeitos. A insatisfação localizada pode ser consequência de: diferenças de temperatura na vertical entre a cabeça e os tornozelos, da temperatura do pavimento (muito quente ou muito frio), da assimetria radiante e das correntes de ar. Para cada um destes efeitos, a ISO 7730 [21] fornece modelos que permitem calcular a percentagem de insatisfeitos (PD). Para além disso, a ASHRAE 55 [17] indica valores limite para os diferentes tipos de desconforto, desde que a resistência térmica do vestuário seja inferior a 0,7 clo e a taxa de metabolismo inferior a 1,3 met.

Num espaço interior é comum verificar-se um aumento da temperatura do ar na vertical, particularmente do pavimento para o teto. Quando este gradiente de temperatura se torna suficientemente elevado pode causar desconforto ao nível dos pés e da cabeça. A Figura 7 apresenta a relação entre a percentagem de insatisfeitos (PD) e as diferenças de temperatura entre a cabeça e os tornozelos ( $\Delta t_{a,v}$ ), assim como a equação que caracteriza essa relação.

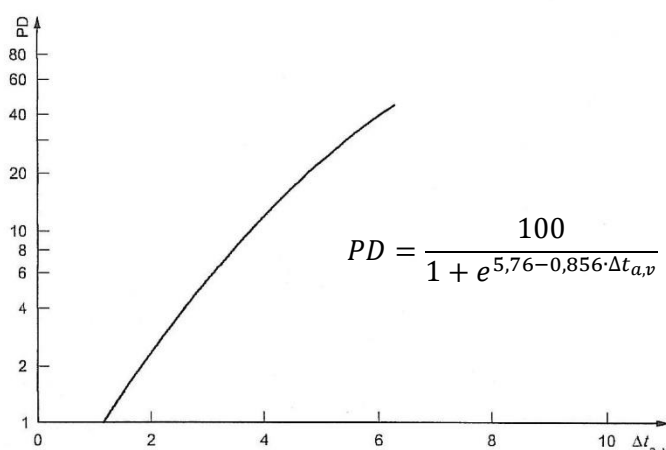


Figura 7 – Desconforto térmico devido às diferenças de temperatura na vertical [21]

A AHSRAE 55 [17] recomenda que o gradiente de temperatura entre a cabeça e os pés não deve exceder os 3°C, para que não se verifique desconforto nestes locais.

Quanto à temperatura do pavimento está associado ao contacto direto dos pés com o pavimento, causando por vezes sensação de desconforto, sendo mais usual verificar-se, na estação de inverno, a insatisfação devido aos pés frios. Esta sensação de desconforto deixa de ter tanto significado quando os indivíduos se encontram calçados, não possuindo, desta forma, tanta importância o conhecimento do tipo de material de um pavimento [18]. A percentagem de insatisfeitos quanto à temperatura do pavimento ( $t_f$ ) é expressa de acordo com a Figura 8.

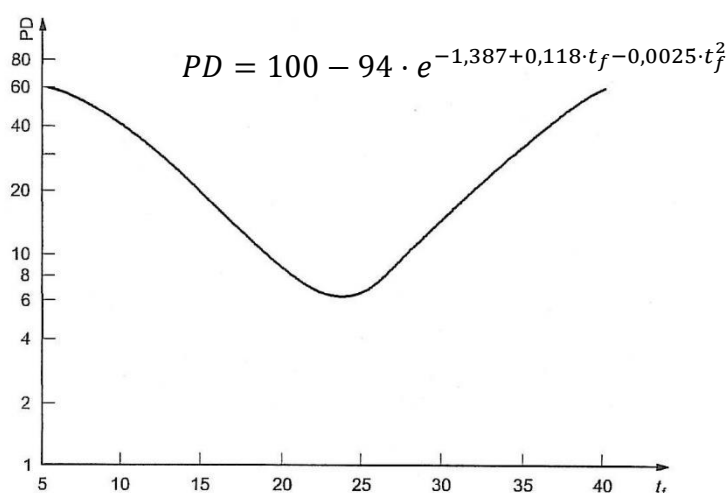


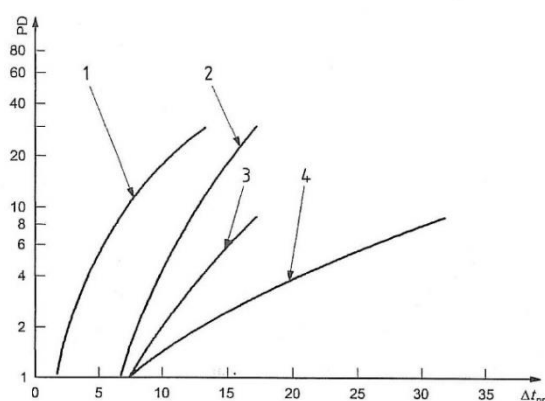
Figura 8 – Desconforto térmico devido à temperatura do pavimento [21]

É possível, por observação da Figura 8, verificar que a temperatura do pavimento ideal é de 24 °C, correspondendo a uma percentagem de insatisfeitos de 6%. Para temperaturas superiores (pavimento quente) ou temperaturas inferiores (pavimento frio) há um aumento da percentagem de insatisfeitos.

A ASHRAE 55 [17] define uma gama de temperaturas de pavimento aceitáveis entre os 19 e os 29 °C.

Ao desconforto localizado por assimetria radiante está associado o parâmetro assimetria de temperatura radiante ( $\Delta t_{pr}$ ), que pode ser descrito como a *diferença entre temperaturas radiais planas de dois lados opostos de um pequeno elemento plano* [18]. Quanto maior for o valor deste parâmetro maior será a insatisfação provocada nos indivíduos, estando na sua origem superfícies com temperaturas distantes à da temperatura do ar, como é o caso de tetos quentes ou frios e paredes quentes ou frias.

A Figura 9 e o Quadro 9 evidenciam a relação entre a percentagem de insatisfeitos (PD) e a assimetria de temperatura radiante.

Quadro 9 – Relação entre a PD e  $\Delta t_{pr}$  [21]

Equação:

Teto quente (1)	$PD = \frac{100}{1 + e^{2,84 - 0,174 \cdot \Delta t_{pr}}} - 5,5$
Parede fria (2)	$PD = \frac{100}{1 + e^{6,61 - 0,345 \cdot \Delta t_{pr}}}$
Teto frio (3)	$PD = \frac{100}{1 + e^{9,93 - 0,5 \cdot \Delta t_{pr}}}$
Parede quente (4)	$PD = \frac{100}{1 + e^{3,72 - 0,052 \cdot \Delta t_{pr}}} - 3,5$

Figura 9 – Desconforto térmico devido à assimetria radiante [21]



Quadro 10 – Valores recomendados para  $\Delta t_{pr}$  [17]

Teto quente	Parede fria	Teto frio	Parede quente
<5 °C	<10 °C	<14 °C	<23 °C

No Quadro 10 estão indicados os valores recomendados pela ASHRAE 55 [17] para assimetria de temperatura radiante, de forma a garantir que não haja desconforto devido a este parâmetro.

A ISO 7730 [21] define as correntes de ar (*draught*) como sendo o *arrefecimento local indesejável do corpo humano causado pelo movimento do ar*. O arrefecimento da pele por convecção está diretamente associado à diferença de temperatura entre o ar e a pele, à velocidade do ar e ao nível de turbulência. Com estes parâmetros definidos, é possível obter a percentagem de insatisfeitos (equação (6)) [21].

$$DR = (34 - t_a)(v_a - 0,05)^{0,62}(0,37 \cdot v_a \cdot Tu + 3,14) \quad (6)$$

Em que:

DR – Percentagem de insatisfeitos devido às correntes de ar (%),

$t_a$  – temperatura do ar (°C) [20 °C – 26 °C],

$v_a$  – velocidade do ar (m/s) [<0,5 m/s],

Tu – turbulência (%) [10% - 60%].

Analogamente ao conforto térmico global, a ISO 7730 [21] estabelece valores limites de percentagem de insatisfeitos (PD) para os quatro tipos de desconforto localizado, para as diferentes categorias. O objetivo é alcançar um espaço que represente um ambiente térmico desejável, isto é, com uma reduzida percentagem de insatisfeitos. No Quadro 11 estão indicados esses limites.

Quadro 11 – Limites do desconforto localizado para as diferentes categorias [21]

Categoria	DR (%)	Diferença de temperatura na vertical	PD (%)	
	Correntes de ar	Temperatura do pavimento	Assimetria radiante	
A	<10	<3	<10	<5
B	<20	<5	<10	<5
C	<30	<10	<15	<10



# 3

## METODOLOGIA

### 3.1. OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação passa pela avaliação da qualidade do ambiente interior em edifícios de serviços, focando-se, essencialmente, como já referido anteriormente, na avaliação da qualidade do ar interior e do conforto térmico. Para tal efeito, realizaram-se ensaios em dois espaços distintos da Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL), localizados na Portaria Principal do Porto de Leixões. Por forma a complementar a interpretação dos resultados, foram utilizados os dados climáticos exteriores (temperatura do ar, velocidade e direção do vento) registados por uma estação meteorológica da APDL.

A avaliação qualidade do ar interior passou pela monitorização de alguns poluentes gasosos, através de medições em contínuo. De realçar que as medições não se cingiram apenas aos espaços interiores em estudo, tendo sido também medidos os poluentes atmosféricos no exterior, com os devidos equipamentos fornecidos pela empresa *Monitar*. Os resultados obtidos permitiram uma análise crítica da qualidade do ar dos espaços interiores, bem como a comparação das concentrações dos poluentes obtidos com os limiares de proteção.

Como forma complementar da avaliação da QAI, realizaram-se ensaios para determinação das renovações horárias, recorrendo à técnica do decaimento do Método do Gás Traçador.

Para a avaliação do conforto térmico recorreu-se ao equipamento *Thermal Microclimate HD32.1*, utilizando-se dois programas que forneceram valores dos parâmetros ambientais, bem como de outras variáveis, permitindo a análise do conforto através dos modelos descritos na secção §2.3.2. Durante a realização destes ensaios, foram ainda distribuídos inquéritos aos ocupantes dos espaços possibilitando a avaliação dos parâmetros individuais bem como a comparação da sensação e perceção térmica dos indivíduos com os resultados do equipamento.

De referir os inquéritos incluíam questões relacionadas com os ensaios do conforto térmico e relativas à qualidade do ar.

### 3.2. ENQUADRAMENTO

O Porto de Leixões surgiu muito antes de qualquer intervenção humana. Os rochedos e os afloramentos graníticos que ali prevaleciam formavam um semicírculo, fornecendo, desde cedo, um porto de abrigo natural. A isto, estava aliado a tranquilidade do Rio Leça, que permitia resguardar as embarcações das adversidades do mar. Só no final do século XIX é que se ponderou a construção de um porto de abrigo artificial. O projeto definitivo desta estrutura portuária artificial foi da responsabilidade do Sir John Coode e do Engenheiro Afonso Joaquim Nogueira Soares. A construção ficou marcada pela edificação de dois molhes<sup>2</sup> extensos no lado Norte e Sul. Por esta altura, o Porto de Leixões ainda não constituía um verdadeiro porto comercial, dado os grandes entraves socioeconómicos que se faziam sentir na altura. Só em 1913 é que se observou a transformação do Porto de Leixões num porto comercial, conduzindo à necessidade da existência de um organismo que gerisse a construção e a exploração da estrutura portuária. A Junta Autónoma das Obras Marítimas do Porto do Douro e Leixões foi a entidade responsável pelos posteriores avanços e adaptações no Porto de Leixões, estando na origem da APDL. A partir desta data, foram notórios os avanços desta estrutura portuária, nomeadamente na utilização das margens de Matosinhos e de Leça da Palmeira para construção de docas, na construção de cais acostáveis, no aumento das acessibilidades entre o tráfego portuário e o tráfego rodoviário, entre outras construções [25].

Atualmente, a APDL conta com várias instalações, estando indicadas no Quadro 12 algumas das empresas com quem foram celebrados contratos de modo a utilizar essas instalações.

Quadro 12 – Instalações da APDL e respetivos concessionários [26], [27]

Instalações		Concessionários
1	Terminal de passageiros	Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL)
2	Terminal Roll-on/Roll-off	Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL)
3	Terminal de Granéis Sólidos e Líquidos	Terminal de Carga geral e Granéis de Leixões, S.A. (TCGL)
4	Terminal de Granéis Sólidos Agro-alimentares	Terminal de Carga geral e Granéis de Leixões, S.A. (TCGL) ED&FMAN Portugal, Lda.
5	Terminal de Contentores	Terminal de Contentores de Leixões, S.A. (TCL)
6	Terminal de Petroleiros	Petróleos de Portugal – Petrogal, S.A. TERCIM – Terminais de Cimento S.A.
7	Terminal de Cimentos	SECIL – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A. CIMPOR, Indústria de Cimentos, S.A.
8	Terminal Polivalente: terminal para Asfaltos	CEPSA – Companhia Portuguesa de Petróleos, Lda.
9	Terminal de Cruzeiros	Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL)
10	Terminal Multiusos	Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL)
11	Porto de Pesca	DOCAPESCA – Portos e Lotas, S.A.
12	Doca de Recreio	Marina Porto Atlântico

<sup>2</sup> Obra marítima de engenharia hidráulica, também denominado como paredão, que tem como principal objetivo proteger o porto e permitir que os navios atracuem.

Quanto às acessibilidades, a APDL possui uma ponte móvel com 92 metros de extensão, permitindo a passagem de embarcações a montante, nomeadamente para as docas situadas para o interior do porto. Outro grande marco desta estrutura portuária é a Via Interna de Ligação ao Porto de Leixões (VILPL) que constitui grande parte da acessibilidade terrestre. Esta obra viária permitiu reduzir intensamente o tráfego que era sentido na malha urbana Matosinhense, sendo esta de acesso exclusivo aos veículos pesados que pretendam levantar ou entregar carga no porto. Na mesma altura, em 2008, construiu-se a Portaria Principal do Porto de Leixões, tendo sido este o local da realização dos ensaios desta dissertação [28].

Na Figura 10 é apresentado um mapa do Porto de Leixões, estando indicadas as diversas instalações referidas no Quadro 12 e as respetivas acessibilidades, bem como uma imagem aérea da Portaria Principal do Porto de Leixões.

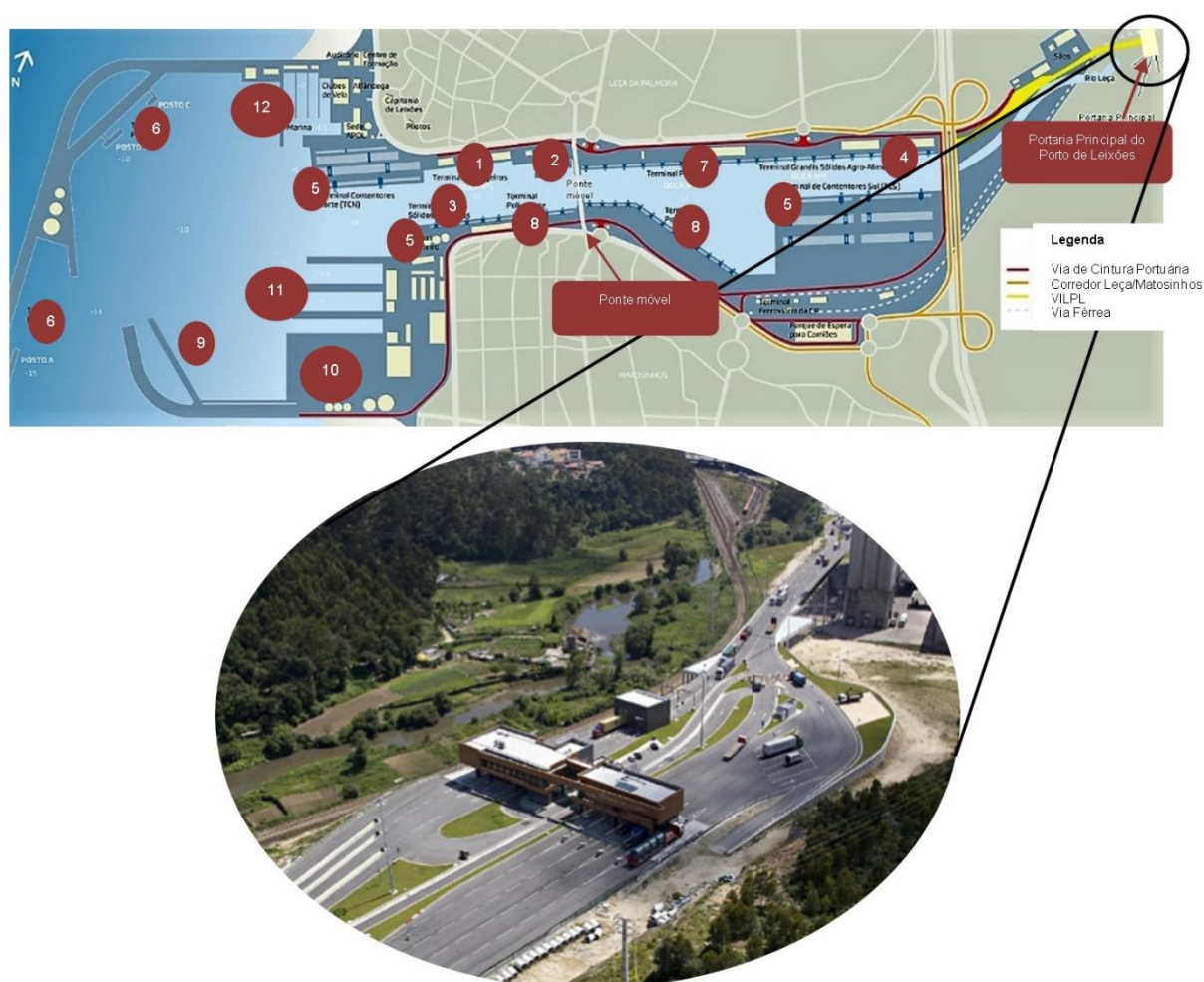


Figura 10 – Planta do Porto de Leixões e imagem aérea da Portaria Principal do Porto de Leixões, adaptado de [29]

### 3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

A Portaria Principal do Porto de Leixões constitui o ponto de entrada terrestre, onde é realizado o registo eletrónico de toda informação respeitante à mercadoria que entra e sai do Porto de Leixões, com o princípio de *one-stop shop*<sup>3</sup>, conduzindo este sistema a uma maior eficácia no atendimento [28]. O atendimento aos veículos pesados poderá ser realizado pelas 4 cabines existentes, havendo a possibilidade de passar pelo atendimento automático na existência de um cartão que dê esse acesso automático à área portuária. A restante edificação é constituída essencialmente pela Sala dos Seguranças, onde é executado o controlo de toda esta área, e de outras salas que servem de apoio aos funcionários.

Os ensaios deste trabalho decorreram na sala dos seguranças e nas cabines. Na Figura 11 está ilustrado o edifício da Portaria Principal do Porto de Leixões, estando assinalados os respetivos locais da realização dos ensaios.



Figura 11 – Portaria Principal do Porto de Leixões, adaptado de [30]

A sala dos seguranças possui uma área aproximadamente de 30 m<sup>2</sup>, localizando-se no piso 0, imediatamente à entrada do edifício da Portaria Principal. As fachadas da sala dos seguranças são em betão até sensivelmente 1 metro de altura, sendo a restante parte constituída por vidro incolor temperado, com caixilharia de alumínio. A separação interior da sala dos seguranças com o restante edifício é efetuada por um envidraçado. Para além disso, o espaço possui um sistema de climatização, estando dotado de duas bocas de ar condicionado e uma grelha de extração. O funcionamento deste sistema de climatização e os *setpoints* é definido pelos utilizadores. Dada a função deste local, os Seguranças têm ao seu dispor um conjunto de monitores, bem como outros equipamentos eletrónicos, que permitem o controlo de toda a área (Figura 12).

<sup>3</sup> Local que oferece todos os requisitos/serviços a um cliente numa única paragem.



(a)



(b)

Figura 12 – (a) Interior da sala dos seguranças; (b) Exterior da sala dos seguranças

Quanto às cabines de portagem, ou simplesmente cabines, a Portaria Principal está provida de 4 cabines idênticas, numeradas de 2 a 5, tendo aproximadamente 6 m<sup>2</sup> de área cada uma. Construtivamente, as cabines possuem um revestimento de pavimento à base de tapete de borracha, estando assente sobre um estrado de madeira. As quatro fachadas das cabines são em painel sandwich até 1,10 metros de altura, sendo a restante altura preenchida com vidro incolor temperado com uma caixilharia de alumínio. No alçado voltado para Nordeste (fachada apresentada na Figura 11), o vidro incolor não possui caixilho. As cabines têm teto falso metálico, não possuindo qualquer sistema de climatização. Cada cabine possui uma porta de acesso e uma janela de correr que permite o contacto direto dos funcionários com os motoristas. Cada cabine é apenas utilizada por um funcionário, estando ao seu dispor equipamento eletrónico que permite o registo de toda a informação (computadores e impressoras) (Figura 13).



(a)



(b)

Figura 13 – (a) Interior da cabine 2 (b) Exterior da cabine 2



### 3.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

#### 3.3.1. CONDIÇÕES E PLANEAMENTO DO ENSAIO

A avaliação da qualidade do ar exterior e interior decorreu em dois períodos distintos, nomeadamente na última semana de Março e na terceira semana de Maio (Figura 14). Este ensaio consistiu na monitorização de alguns poluentes gasosos, através de medições em contínuo. Para a medição dos poluentes gasosos interiores utilizaram-se sensores interiores, tendo sido colocada uma estação de monitorização exterior para a medição dos poluentes gasosos exteriores.

De salientar que nas semanas em que se realizaram os ensaios para a avaliação da qualidade do ar, reforçaram-se os ensaios de avaliação da ventilação e de conforto térmico. Adotou-se esta estratégia de modo a permitir testar uma possível relação entre a ventilação de um espaço e os poluentes medidos.

De acordo com a Metodologia de Avaliação da Qualidade do Ar [4] é necessário ter em conta alguns cuidados com a localização dos sensores nos locais em estudo, nomeadamente:

- O afastamento no mínimo de 1 a 2 m dos cantos de paredes, de janelas, armários, divisórias;
- Evitar a colocação por baixo de aquecedores, ventoinhas ou difusores;
- Estar posicionado a uma altura do solo de  $1,5 \pm 0,5$  m;
- Distanciar os sensores de pelo menos 1 m de fontes como fotocopiadoras e impressoras.

Para a medição dos poluentes gasosos exteriores deve-se garantir que o local de amostragem exterior esteja próximo dos locais em estudo. Quanto ao número de amostragens num local, esta Metodologia [4], indica que para edifícios com ventilação forçada o número mínimo tem por base o sistema de ventilação desse mesmo local.

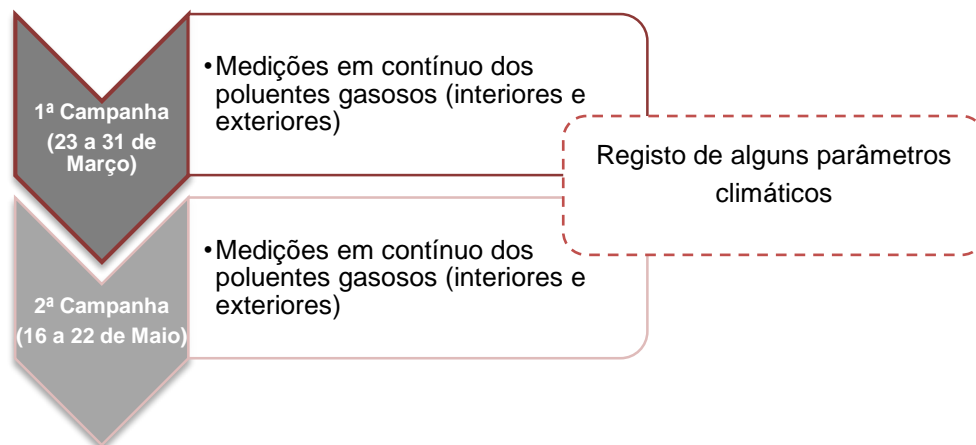


Figura 14 – Esquematisação dos ensaios de avaliação da qualidade do ar

#### 3.3.2. MEDIÇÕES

Para efetuar a medição contínua das concentrações dos poluentes exteriores, utilizaram-se dois equipamentos distintos nas duas campanhas que decorreram nos meses de Março e Maio (Figura 15). Este facto ocorreu meramente por questões de disponibilidade da empresa *Monitar*, que forneceu os equipamentos utilizados na medição. O equipamento representado na Figura 15 – a mediu os seguintes 5 poluentes:



- Monóxido de azoto (NO) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ];
- Dióxidos de azoto (NO<sub>2</sub>) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ];
- Monóxido de carbono (CO) [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ];
- Benzeno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ];
- Partículas em suspensão de fração 10 (PM<sub>10</sub>) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Na segunda campanha, o equipamento ilustrado na Figura 15 – b, mediu apenas 3 poluentes exteriores, particularmente:

- Dióxidos de azoto (NO<sub>2</sub>) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ];
- Monóxido de carbono (CO) [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ];
- Partículas em suspensão de fração 2,5 (PM<sub>2,5</sub>) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

O registo das concentrações foi fornecido por intervalos de 15 min, sendo que as Partículas em Suspensão de fração 10 foram registadas em períodos de 6 em 6 horas. Para além disso, juntamente com a medição dos poluentes, foram medidos alguns parâmetros ambientais pelo equipamento da Figura 15 – a, tais como: a temperatura do ar, a velocidade e direção do vento, a pressão atmosférica, a humidade relativa e a precipitação acumulada.



(a)



(b)

Figura 15 – (a) Estação de monitorização exterior utilizada na 1ª Campanha; (b) Sensor exterior utilizado na 2ª Campanha

Quanto aos sensores que permitiram a medição de alguns poluentes gasosos no interior, optou-se por colocar um sensor na sala dos seguranças e um outro sensor na cabine 5. A escolha desta cabine deveu-se ao facto de se tratar de uma das cabines com maior funcionamento, representando assim o caso mais gravoso das cabines da Portaria Principal do Porto de Leixões. A Figura 16 e a Figura 17 indicam, respetivamente, a localização do sensor na cabine 5 e na sala dos seguranças. Relativamente aos poluentes medidos, é possível distinguir 3 deles, designadamente:

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) [ppm];
- Dióxido de Azoto (NO<sub>2</sub>) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ];
- Partículas em suspensão de fração 2,5 (PM<sub>2,5</sub>) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Na sala dos seguranças, o sensor utilizado mediu juntamente com o Dióxido de Azoto o Ozono. O registo dos poluentes interiores foi efetuado em intervalos de 5 minutos. Analogamente à estação de monitorização exterior, os sensores interiores também mediram alguns parâmetros ambientais, designadamente a temperatura do ar e a humidade relativa.

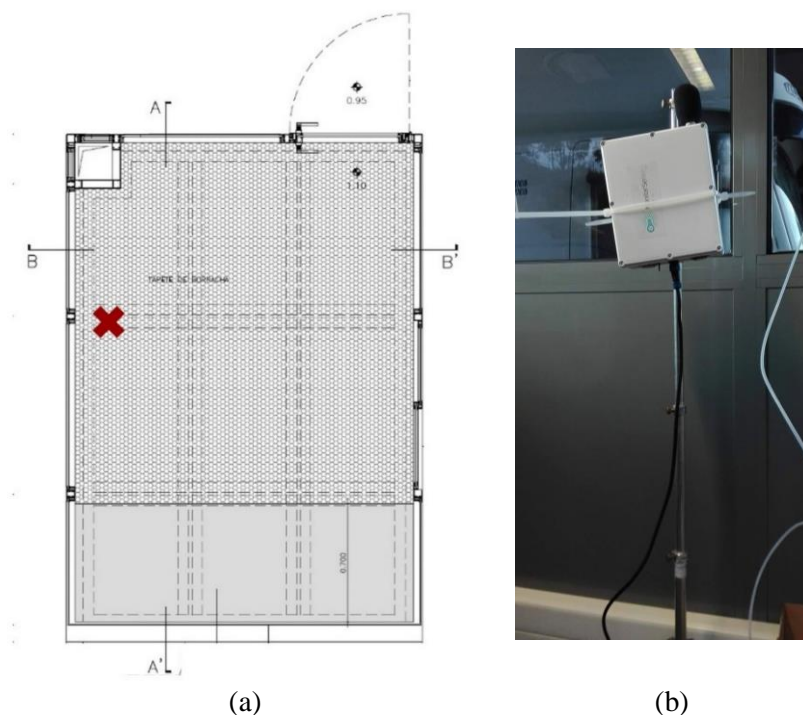


Figura 16 – (a) Planta da cabine com localização do sensor para avaliar a qualidade do ar interior (b) Fotografia do sensor na cabine 5

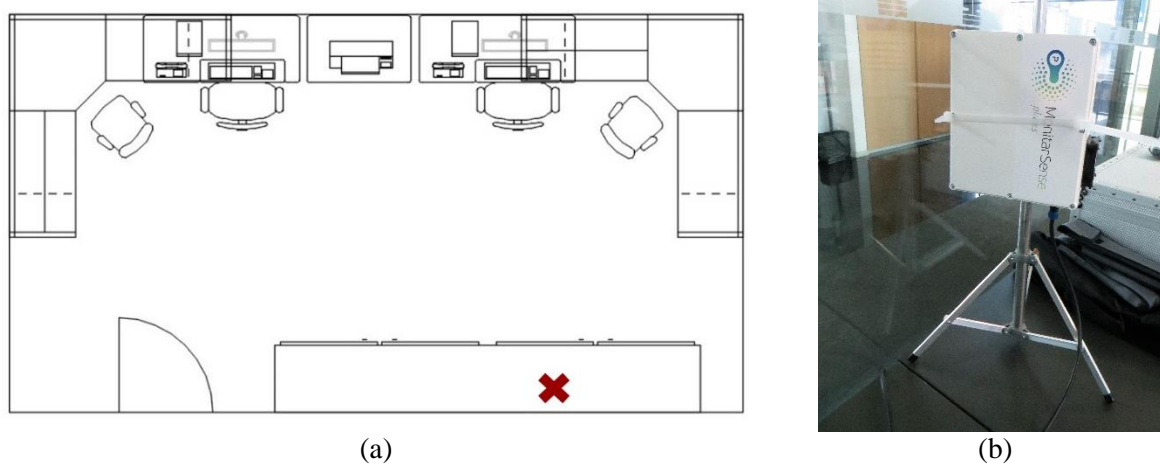


Figura 17 – (a) Planta da sala dos seguranças com a localização do sensor para avaliar a qualidade do ar interior (b) Fotografia do sensor na sala dos seguranças

### 3.4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO

#### 3.4.1. ENQUADRAMENTO

O conhecimento sobre as taxas de ventilação de um espaço tem grande interesse tanto a nível energético como a nível da avaliação da qualidade do ar interior. É nesta última vertente e com o intuito de relacionar a ventilação com a concentração de contaminantes desse espaço, que se realizaram os ensaios do Método do Gás Traçador. Foi utilizada a técnica do decaimento, por ser das mais aplicadas, pela simplicidade do método e por poderem ser obtidos resultados num curto espaço de tempo [15].

Este ensaio apenas se realizou nas cabines da Portaria Principal do Porto de Leixões, dada a dificuldade em manter condições fronteira constantes na sala dos seguranças, nomeadamente abertura/fecho da porta de acesso ao espaço. Por outro lado, o volume do local é significativo, o que iria implicar a injeção de quantidades significativas de gás, sem garantias de se obterem resultados fiáveis. Também a existência de ventilação mecânica poderia condicionar os resultados. Relativamente à metodologia adotada para a avaliação das taxas de ventilação, definiu-se como relevante a avaliação do cálculo do caudal com janela fechada e com janela aberta.

#### 3.4.2. CONDIÇÕES E PLANEAMENTO DO ENSAIO

Os ensaios de avaliação dos caudais de ventilação decorreram nos meses de Março, Abril e Maio, sendo realizado, aproximadamente, 1 ensaio por semana. Por sua vez, nas duas semanas em que se fez a avaliação da qualidade do ar, houve uma maior incidência destes ensaios. Tal como referido anteriormente, este ensaio apenas se realizou nas cabines, sendo efetuadas quatro medições por dia, duas da parte da manhã e as restantes à hora de almoço. Esta estratégia deveu-se às limitações do ensaio, no qual era necessário garantir a não existência de ocupantes no local. Na parte da manhã, as medições decorreram sempre na cabine 2, uma vez que, neste período, estava sempre desocupada. Aproveitou-se a pausa de almoço dos funcionários (12h-13h) para a realização das duas restantes medições, numa outra cabine. Na Figura 18 está esquematizado o plano de um dia de ensaios.

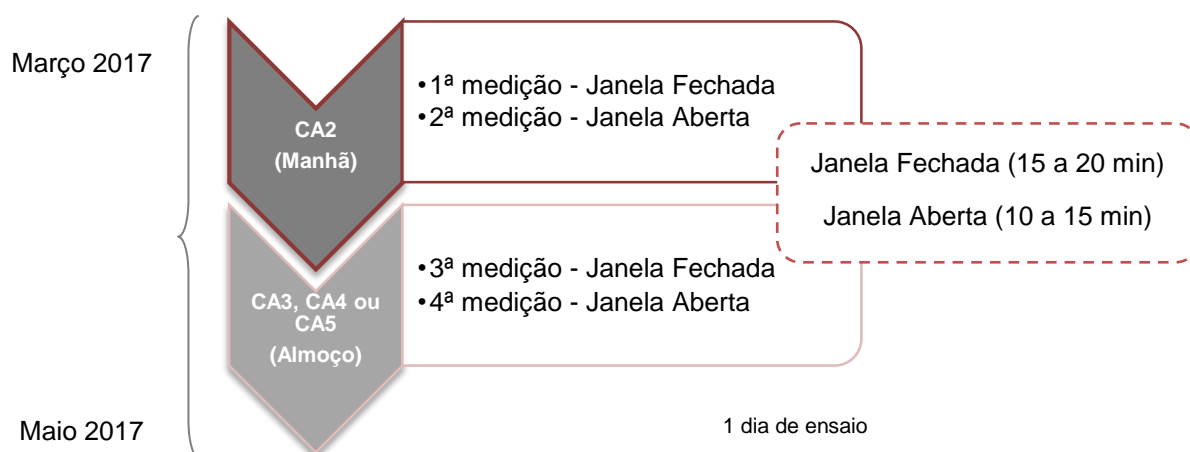


Figura 18 – Esquematização de um dia de ensaios da avaliação da ventilação

Em cada local realizaram-se duas medições, no qual a primeira consistiu em registar o decaimento da concentração do gás com o espaço completamente fechado, aproveitando a restante concentração de gás para registar a taxa de ventilação com a influência da janela aberta.

Esta técnica indica que se deve começar a registar o decaimento da concentração do gás quando este estiver uniformemente distribuído pelo espaço. Desta forma, apenas uns minutos após da injeção do gás é que efetivamente se realiza o ensaio. A partir desse momento, inicia-se o período de medição, estando concluído quando se verificar uma diminuição da variação da concentração, isto é, um menor decaimento com tendência para a estabilização da concentração do gás no espaço.

Para além da homogeneidade do gás no espaço, a aplicação desta técnica engloba outras condições [31]:

- A concentração máxima do gás não deve ultrapassar um décimo do limite permitido, sendo que a concentração libertada deve ser tal que permita a deteção pelo analisador do gás;
- A recolha do gás deve ser realizada a meia altura do espaço e suficientemente afastada de janelas.

### 3.4.3. MEDIÇÕES

A técnica do decaimento, como já indicado, consiste em marcar o ar com um gás traçador e registar o decaimento da sua concentração, possibilitando a obtenção das taxas de ventilação. Para tal foi injetado no espaço um pequeno volume de Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), durante aproximadamente 5 segundos. Para garantir a homogeneidade no espaço, recorreu-se a uma ventoinha, localizada a jusante da emissão do gás. Visto que as cabines apresentam uma pequena dimensão, considerou-se que a utilização de uma ventoinha era suficiente para a mistura e uniformização do SF<sub>6</sub>. Posteriormente, com o auxílio de um tubo, que permitiu a recolha de amostras de ar e juntamente com um equipamento analisador do gás traçador (*Innova*), registou-se a evolução da concentração em função do tempo decorrido, com um programa instalado no computador, denominado *1312PC software*. A Figura 19 esquematiza um ensaio deste método.

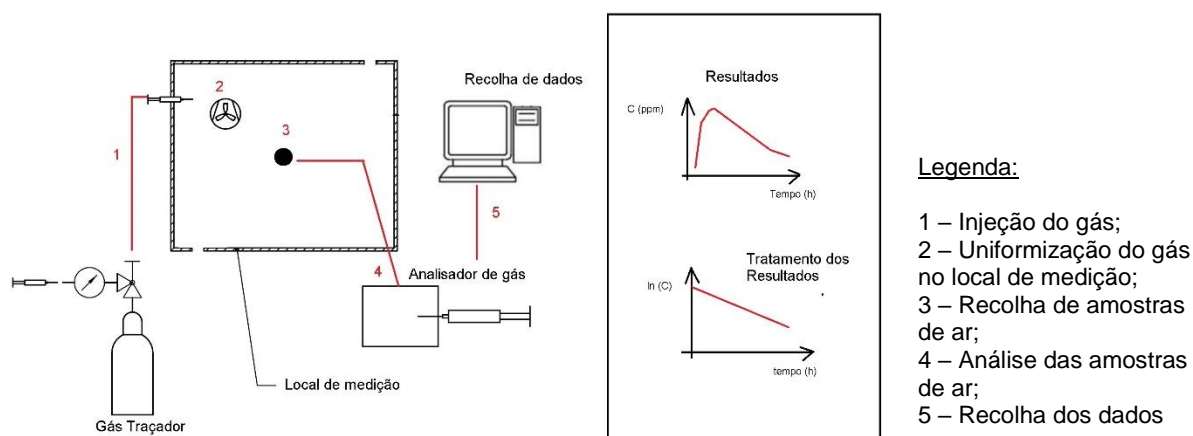


Figura 19 – Esquematização da técnica do decaimento do método do gás traçador, adaptado de [16]

Para a segunda etapa do ensaio, optou-se por voltar a injetar um pouco de gás (aproximadamente 1 segundo) para que a concentração não atingisse valores muito reduzidos. Após alguns minutos, até se observar a uniformização do gás, iniciava-se a segunda etapa, com a abertura da janela.

A obtenção dos caudais de ventilação é baseada no pressuposto da conservação da massa do ar e do gás traçador, supondo que não existem outras fontes de emissão ou absorção do gás e que a sua concentração no exterior é nula. Desta forma, obtém-se a seguinte equação diferencial [18]:

$$V \frac{dc(t)}{dt} = -Qc(t) \quad (7)$$

Em que:

V – Volume efetivo do espaço [m<sup>3</sup>]

c – concentração em volume do gás traçador

Q – caudal de ar exterior

Integrando a equação (7) e considerando um regime permanente (Q=constante):

$$\int_{c_0}^c \frac{dc}{c} = -\frac{Q}{V} \int_0^t dt \quad (8)$$

O resultado deste integral está apresentado na equação (9) sabendo que Q/V representa o número de renovações horárias (RPH).

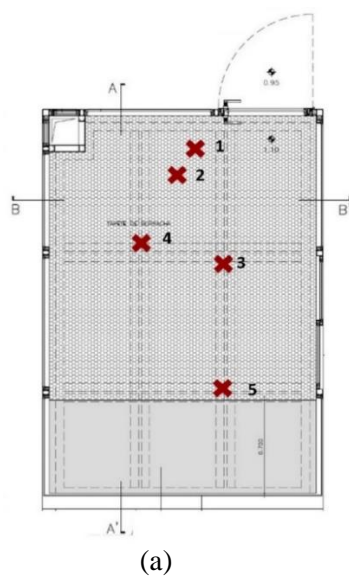
$$\ln c - \ln c_0 = -\frac{Q}{V} t \Leftrightarrow \ln c = -RPH \cdot t + \ln c_0 \quad (9)$$

Desta forma, conclui-se que variação do logaritmo neperiano da concentração do gás traçador origina uma reta linear em função do tempo. O declive da reta é o simétrico das renovações horárias do espaço, que multiplicado pelo volume fornece o caudal ventilado.

Quanto aos equipamentos/aparelhos utilizados neste tipo de ensaio, está representado no Quadro 13 o nome e a sua função conforme o esquema da Figura 19. Na Figura 20 apresenta-se a localização em planta dos aparelhos necessários para a realização deste ensaio, bem como uma fotografia com todo o equipamento na cabine 2.

Quadro 13 – Equipamento utilizado no ensaio de avaliação da ventilação

Aparelho	Nome	Função
1	Botija com Hexafluoreto de Enxofre (SF <sub>6</sub> )	Injetar o gás no espaço
2	Ventilador rotativo	Distribuir e uniformizar o gás no espaço
3	Suporte de madeira	Assegurar a recolha do gás a meia altura do espaço
	Tubo	Recolha das amostras de ar
4	Analizador de gás fotoacústico da Innova ref <sup>a</sup> . 1312	Análise das amostras de ar



(a)



(b)

Figura 20 – (a) Planta da cabine com a indicação da localização dos aparelhos para avaliação da ventilação (1 - botija de gás, 2 - ventilador rotativo, 3 - suporte de madeira com tubo, 4 - analisador de gás fotoacústico, 5 - computador com *software* 1312PC); (b) Fotografia com equipamento montado na cabine 2



### 3.5. PROCEDIMENTO DE ENSAIO DO CONFORTO TÉRMICO

#### 3.5.1. CONDIÇÕES E PLANEAMENTO DO ENSAIO

Os ensaios de avaliação do conforto térmico decorreram entre Março e Maio, com ensaios realizados uma vez por semana, tendo sido igualmente reforçados nas semanas que se avaliou a qualidade do ar. A medição dos parâmetros ambientais para aplicação dos modelos de conforto térmico foi efetuada com recurso a dois programas do equipamento *Thermal Microclimate HD32.1*, designados como Log A (*Microclimate Analysis*) e Log B (*Discomfort Analysis*). Quanto à estratégia utilizada, optou-se por realizar ensaios alternados de 1 hora (30 min Log A + 30 min Log B), nos dois locais em estudo (sala dos seguranças e cabines), sendo efetuados ao todo 5 medições por dia. Na Figura 21 está esquematizado o planeamento dos ensaios, isto é, um exemplo de como foi efetuada a alternância entre locais de medição.

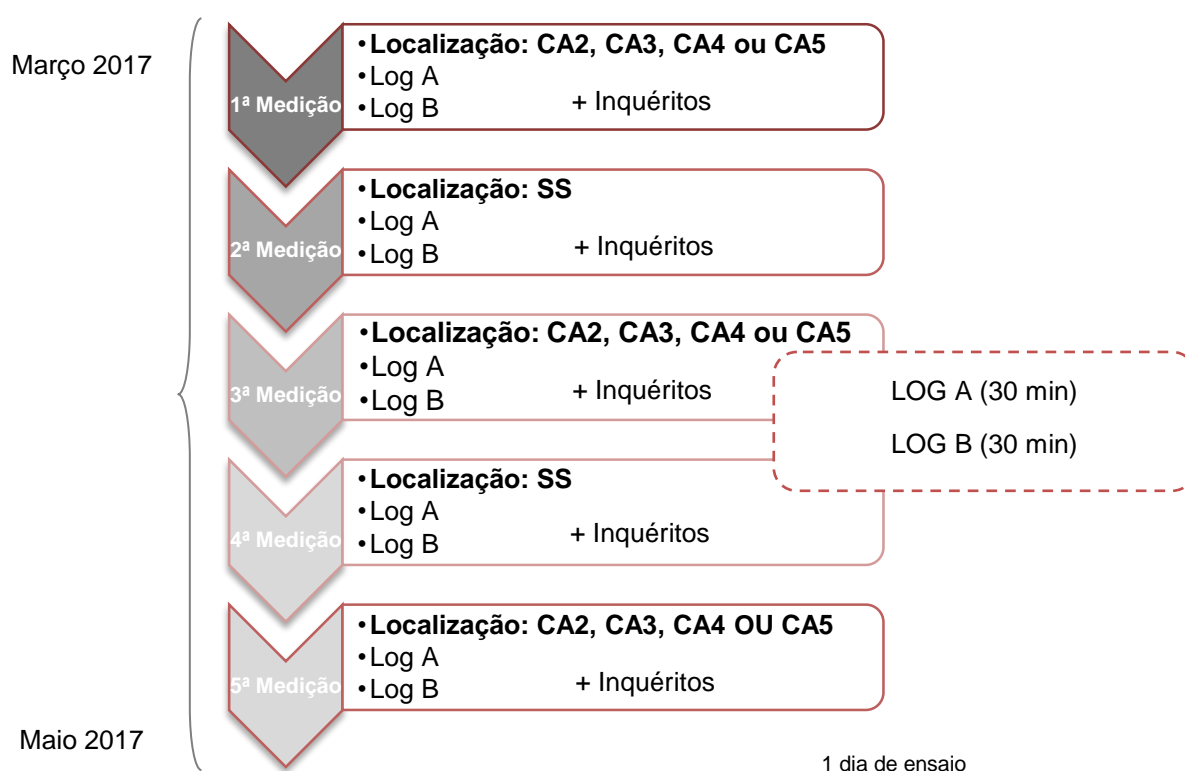


Figura 21 – Esquematização de um dia de ensaios de conforto térmico

Aquando da realização das medições, entregaram-se inquéritos aos funcionários de forma a analisar os restantes parâmetros (individuais e as oportunidades adaptativas), o que permitiu também comparar a perceção do ambiente interior com os resultados do equipamento. Desta forma, houve a preocupação em garantir duas condições:

- a permanência de funcionários no local de ensaio, após um período mínimo, de modo a que o preenchimento dos inquéritos revelasse dados fidedignos do ambiente interior;
- a alternância entre diferentes cabines, dado que num mesmo dia encontra-se apenas um funcionário em cada cabine, garantindo assim que o que estava a ser avaliado era o ambiente interior do espaço e não apenas a perceção de uma determinada pessoa que preenchia o inquérito.

### 3.5.2. MEDIÇÕES

Quanto ao posicionamento do equipamento *Thermal Microclimate HD32.1*, para a realização das medições, procurou-se que este ficasse o mais centralizado no espaço, sem condicionar o correto funcionamento desses locais. Para além disso, houve também a preocupação em afastar o equipamento de fontes de calor, nomeadamente de envidraçados e de equipamento eletrónico, de modo a que os resultados conduzissem a valores fidedignos do ambiente térmico. A Figura 22 e a Figura 23 apresentam, respetivamente, a localização do equipamento nas cabines e na sala dos seguranças.

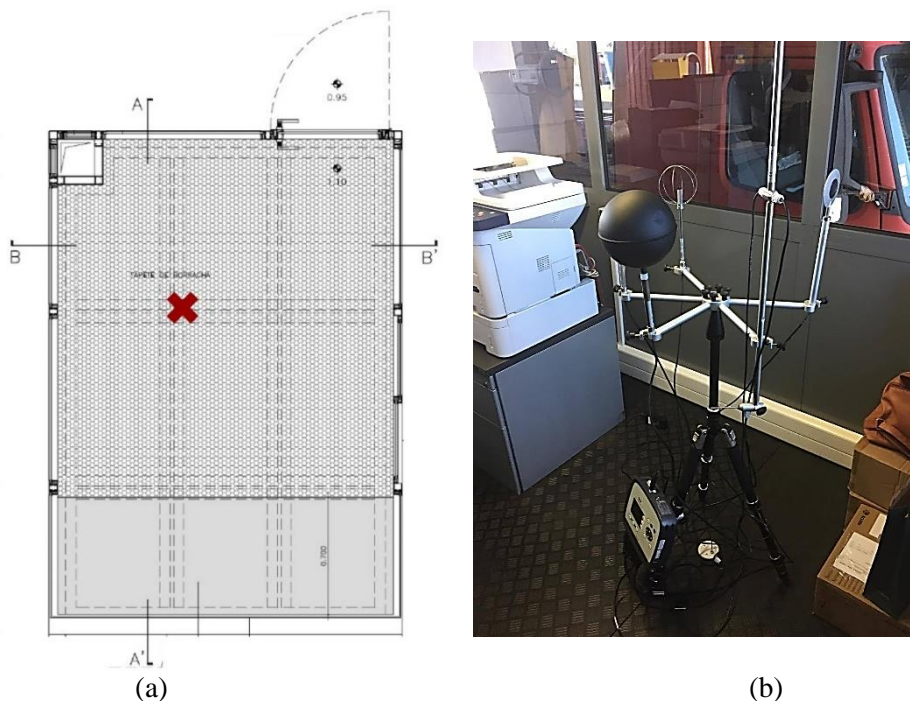


Figura 22 – (a) Planta da cabine com a indicação da localização do equipamento para avaliação do conforto térmico (b) Fotografia com equipamento na cabine 3

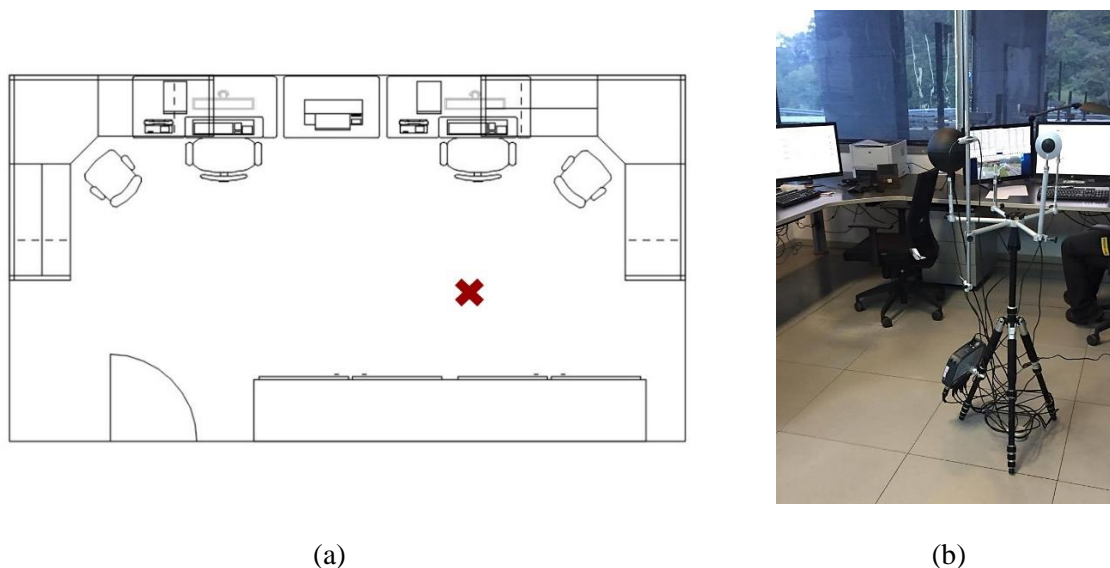


Figura 23 – (a) Planta da sala dos seguranças com a indicação da localização do equipamento para avaliação do conforto térmico (b) Fotografia com equipamento na sala dos seguranças



Relativamente às potencialidades do equipamento de medição, este possui três programações diferentes: *Microclimate Analysis* (Log A), *Discomfort Analysis* (Log B), *Physical Quantities* (Log C). Para determinação da adequabilidade dos espaços, apenas foram utilizados os programas A e B, não sendo por isso descrito o último programa. O programa *Microclimate Analysis* permite a deteção dos seguintes parâmetros:

- Temperatura do bolbo molhado -  $t_{nw}$  [°C];
- Temperatura do globo negro -  $t_g$  [°C];
- Temperatura do ar -  $t_a$  [°C];
- Pressão atmosférica -  $p_r$  [hPa];
- Humidade Relativa - HR [%];
- Velocidade do ar -  $v_a$  [m/s].

Em adição, este programa possibilita o fornecimento de outros dados, calculados diretamente em função dos parâmetros medidos pelo equipamento, tendo por base as normas em vigor. A temperatura média radiante ( $\bar{t}_r$ ) foi o parâmetro selecionado no equipamento aquando a realização das medições.

O programa B, *Discomfort Analysis*, viabiliza a medição de 6 parâmetros, nomeadamente:

- Temperatura ao nível da cabeça -  $t_h$  [°C];
- Temperatura ao nível do abdómen -  $t_b$  [°C];
- Temperatura ao nível dos tornozelos -  $t_k$  [°C];
- Temperatura ao nível do chão -  $t_f$  [°C];
- Balanço radiativo -  $P$  [W/m<sup>2</sup>];
- Assimetria de temperatura radiante -  $\Delta t_{pr}$  [°C].

As sondas utilizadas para medir os parâmetros ambientais referidos anteriormente estão descritas no Quadro 14.




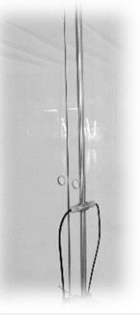


Foi definido um intervalo de 30 segundos para o registo dos parâmetros ambientais. Sendo assim, em cada Log de meia hora obtiveram-se 60 valores de cada parâmetro.

Quanto à sonda que media a temperatura ao nível da cabeça e do abdómen, colocou-se à altura de 1,10 metros do chão que, segundo a ISO 7726 [19], corresponde a um indivíduo que se encontra sentado, tal como a posição dos funcionários das cabines e da sala dos seguranças.

Para a medição da assimetria de temperatura radiante colocou-se a sonda na posição vertical de modo a que as diferenças de temperaturas registadas entre os dois planos opostos fossem causadas por uma parede quente ou fria.

Este equipamento juntamente com o conjunto de procedimentos descritos permitiu a determinação dos parâmetros ambientais e posteriormente a aplicação do modelo analítico e dos modelos adaptativos para o conforto térmico, bem como uma análise do desconforto térmico localizado segundo a ISO 7730 [21].

Quadro 14 – Sondas do equipamento *Thermal Microclimate HD32.1* [32]

Sondas	Parâmetro	Intervalo de medição	Resolução	Precisão	Observações
	Temperatura do ar ( $t_a$ )	[-30 a 100] °C	0,01 °C	[-0,09 a +0,19] °C	Deve estar suficientemente afastada de fontes de calor e correntes de ar.
	Humidade relativa (HR)	5% a 98%	0,1%	± 2,5%	
	Velocidade do ar ( $v_a$ )	[0,05 a 5] m/s	0,01 m/s	± 0,02 m/s [0,05 a 1] m/s ± 0,1 m/s [1 a 5] m/s	-
	Temperatura do globo negro ( $t_g$ )	[- 30 a 120] °C	0,01 °C	[-0,09 a +0,21] °C	-
	Temperatura ao nível da cabeça ( $t_h$ )	[-10 a 100] °C	0,01 °C	[-0,08 a +0,19] °C	Esta sonda poderá estar posicionada em duas alturas diferentes
	Temperatura ao nível do abdómen ( $t_b$ )	[-10 a 100] °C	0,01 °C	[-0,08 a +0,19] °C	
	Temperatura ao nível do tornozelo ( $t_k$ )	[-10 a 100] °C	0,01 °C	[-0,08 a +0,19] °C	-
	Temperatura ao nível do chão ( $t_f$ )	[-10 a 100] °C	0,01 °C	[-0,08 a +0,19] °C	
	Assimetria de temperatura radiante ( $\Delta t_{pr}$ )	[-10 a 100] °C	0,01 °C	10,43 $\mu V/(W/m^2)$	Esta sonda poderá ser colocada na posição vertical ou horizontal.

Nota: O equipamento *Thermal Microclimate HD32.1* possui um sensor interno que permite a medição da pressão atmosférica ( $p_r$ ).

## 3.5.3. INQUÉRITOS

Para a determinação da perceção do ambiente interior dos indivíduos elaboraram-se questionários que foram distribuídos aos funcionários aquando a realização das medições (Log A + Log B). A composição dos inquéritos divide-se essencialmente em 7 grupos:

- 1º Grupo – para caracterização da amostra em termos de idade, sexo, peso e altura. Também se incluíram questões relacionadas com a prática de exercício físico e o estado de saúde no momento do preenchimento do inquérito;
- 2º Grupo – permite avaliar o ambiente térmico, mais especificamente a sensação, a avaliação, a tolerância e a preferência térmica sentida pelos indivíduos, e a existência de um possível desconforto sentido em alguma zona do corpo;
- 3º Grupo – permite definir a resistência térmica do vestuário, através da descrição das diferentes peças de vestuário;
- 4º Grupo – questão para se avaliar a importância dos fatores da qualidade do ambiente interior (Visual, Térmico, Ruído e Qualidade do Ar Interior) sobre a confortabilidade do indivíduo;
- 5º Grupo – permite conhecer algum possível comportamento adotado pelo indivíduo, aquando a realização das medições, de modo a se ajustar ao ambiente térmico, bem como o tempo de permanência no espaço;
- 6º Grupo – inclui perguntas relativas à qualidade do ar (exterior/interior) e possíveis odores;
- 7º Grupo – permite definir qual a influência do ruído no desempenho do indivíduo.

Na Figura 24 está apresentado a estrutura dos questionários, podendo ser consultado em detalhe no Anexo A. De realçar que a realização destes inquéritos foi baseada na observação de outros inquéritos de estudos similares, sendo que a elaboração do grupo 2 apoiou-se na ISO 10551 [33], que apresenta escalas de subjetividade.

The figure displays four pages of questionnaires from the FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) research group. The first page is a demographic questionnaire (1º Grupo) asking for age, sex, weight, height, and physical activity. The second page is a thermal environment questionnaire (2º Grupo) asking about thermal sensation, evaluation, tolerance, and preference. The third page is a clothing questionnaire (3º Grupo) asking about the type of clothing worn. The fourth page is a questionnaire on the importance of indoor environment factors (4º Grupo) asking about the importance of visual, thermal, noise, and air quality factors. The fifth page is a questionnaire on individual behavior (5º Grupo) asking about the time spent in the space and the behavior adopted. The sixth page is a questionnaire on air quality and odors (6º Grupo) asking about the quality of the air and the presence of odors. The seventh page is a questionnaire on the influence of noise on individual performance (7º Grupo) asking about the influence of noise on performance.

Figura 24 – Estrutura dos inquéritos

A determinação dos parâmetros individuais (taxa de metabolismo e resistência térmica do vestuário) permitiu o cálculo direto dos índices PMV e PPD, do modelo analítico do conforto térmico, através da introdução destas variáveis no programa *DeltaLog10*, referente ao equipamento *Thermal Microclimate HD32.1*.

Relativamente à taxa de metabolismo considerou-se 1,2 met para todas as medições, estando associado este valor à taxa metabólica de um indivíduo sentado, caracterizando tanto a atividade predominante na sala dos seguranças como nas cabines.

Quanto à resistência térmica do vestuário, optou-se por colocar no questionário (3º Grupo) a descrição detalhada das peças de roupa segundo a ASHRAE 55 [17] e a ISO 7730 [21], para que cada inquirido seleccionasse o conjunto de peças que constituía o seu vestuário no momento. Neste grupo, não se colocaram opções quanto à roupa interior, tendo sido assumido um clo médio deste conjunto de peças de 0,4, sendo posteriormente acrescentado à resistência térmica de cada indivíduo. As duas normas citadas anteriormente, evidenciam ainda a possibilidade em adicionar à resistência térmica do vestuário a influência das cadeiras neste parâmetro. Sendo assim, somou-se mais 0,1 clo, referente a uma cadeira de escritório padrão [17], [21]. É de destacar a particularidade da introdução deste parâmetro no programa *DeltaLog10*. Dado que na sala dos seguranças foram inquiridos em média 5 indivíduos por medição, a resistência térmica do vestuário que caracteriza esta mesma medição corresponde à média das resistências térmicas dos inquiridos com as correções acima referidas. No caso das cabines, dado que apenas se encontra um funcionário em cada cabine, logo um funcionário por medição, a resistência térmica desse ensaio corresponde ao valor direto obtido para esse inquirido, com as mesmas correções.

### 3.6. SÍNTESE

Para a elaboração desta dissertação realizaram-se ao todo 94 ensaios, no qual 34 deles dizem respeito aos ensaios da avaliação da ventilação e os restantes 60 ensaios corresponderam aos ensaios de avaliação do conforto térmico. Dos ensaios de avaliação do conforto térmico, efetuaram-se 35 nas cabines e 25 na sala dos seguranças, tendo sido obtido ao todo 153 inquéritos. No Quadro 15 estão indicados o número de ensaios realizados com a respetiva localização e data. Nos ensaios referentes ao conforto térmico está ainda representado, entre parênteses, o número de inquéritos realizados nesse local.

Quanto aos ensaios da qualidade do ar, não estão representados no mesmo quadro, dado que se trataram de 2 campanhas separadas, correspondendo a uma monitorização contínua durante esse período. A primeira campanha decorreu entre 23 de Março a 31 de Março, sendo que a segunda campanha decorreu entre o dia 16 de Maio a 22 de Maio. A monitorização dos poluentes, em ambas as campanhas, foi realizada no exterior da Portaria Principal do Porto de Leixões, no interior da sala dos seguranças e no interior da cabine 5.

Quadro 15 – Número de ensaios realizados nos diferentes locais

Data	Tipo de Ensaio		Localização				
			CA2	CA3	CA4	CA5	SS
2017.03.09	Conforto		-	-	1 (1)	1 (1)	2 (11)
	Ventilação	JF	-	-	-	-	-
		JA	-	-	-	-	-
2017.03.17	Conforto		1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	3 (15)
	Ventilação	JF	1	1	-	-	-
		JA	1	-	-	-	-
2017.03.23	Conforto		1 (1)	-	1 (1)	1 (1)	2 (10)
	Ventilação	JF	1	1	-	-	-
		JA	1	1	-	-	-
2017.03.27	Conforto		1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	2 (10)
	Ventilação	JF	1	-	-	-	-
		JA	1	-	-	-	-
2017.03.29	Conforto		-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (10)
	Ventilação	JF	1	-	1	-	-
		JA	1	-	1	-	-
2017.03.31	Conforto		1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	2 (9)
	Ventilação	JF	1	-	-	1	-
		JA	1	-	-	1	-
2017.04.04	Conforto		-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (9)
	Ventilação	JF	1	1	-	-	-
		JA	1	1	-	-	-
2017.04.12	Conforto		1 (1)	-	1 (1)	1 (1)	2 (8)
	Ventilação	JF	1	-	1	-	-
		JA	1	-	1	-	-
2017.04.19	Conforto		1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	2 (11)
	Ventilação	JF	1	-	-	1	-
		JA	-	-	-	1	-
2017.04.26	Conforto		1 (1)	1 (1)	-	1 (1)	2 (10)
	Ventilação	JF	1	-	1	-	-
		JA	1	-	1	-	-
2017.05.17	Conforto		1 (1)	1 (1)	-	1 (1)	2 (8)
	Ventilação	JF	1	-	-	-	-
		JA	-	-	-	1	-
2017.05.19	Conforto		1 (1)	1 (1)	-	1 (1)	2 (7)
	Ventilação	JF	-	-	-	-	-
		JA	-	-	-	-	-

JF – Janela fechada; JA – Janela aberta

CA2 – Cabine 2; CA3 – Cabine 3; CA4 – Cabine 4; CA5 – Cabine 5; SS – Sala dos Seguranças



# 4

## RESULTADOS DOS ENSAIOS DA QUALIDADE DO AR

### 4.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 4.1.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DA QUALIDADE DO AR

Este subcapítulo focar-se-á na análise dos resultados obtidos da monitorização contínua dos poluentes, distinguindo as duas campanhas que decorreram. Serão também abordados os valores obtidos sobre a perceção da qualidade do ar dos funcionários da sala dos seguranças e das cabines, resultante dos inquéritos distribuídos.

##### 4.1.1.1. Resultados 1ª Campanha

Durante esta campanha de medição (23 a 31 de Março) foram também registados alguns dados climáticos, tal como indicado no capítulo anterior (capítulo §3). Desta forma, considerou-se relevante analisar inicialmente possíveis discrepâncias entre estes parâmetros e os registos fornecidos pela estação meteorológica da APDL. Relembra-se que a estação de monitorização exterior da *Monitar* (Figura 15) esteve situada, durante o período em estudo, na Portaria Principal do Porto de Leixões, sendo que a estação meteorológica da APDL, estava situada nas proximidades.

Dos registos referentes à temperatura do ar (Figura 25) pode-se observar que os valores registados pelos dois equipamentos são muito semelhantes, denotando apenas que os mínimos registados na Portaria Principal do Porto de Leixões são na realidade inferiores aos valores obtidos pela estação meteorológica da APDL.

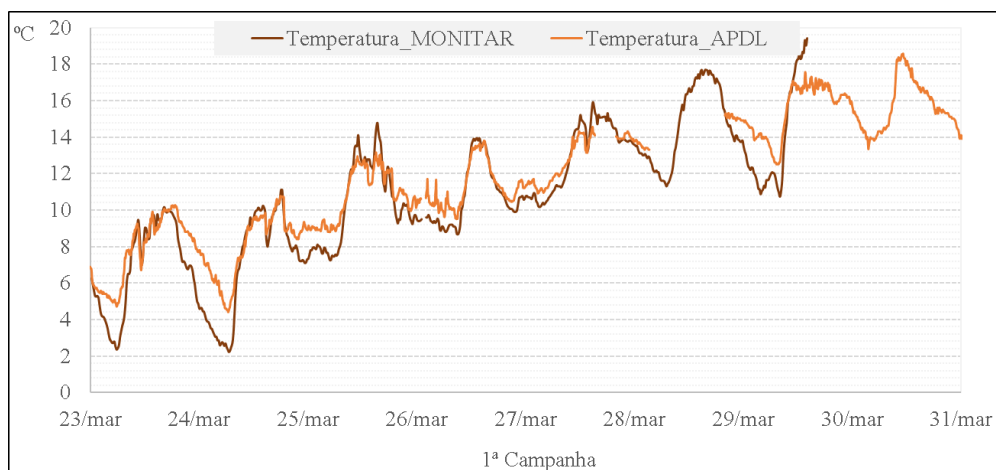


Figura 25 – Registo da temperatura do ar durante a 1ª campanha

Quanto à velocidade do ar, as diferenças observadas na Figura 26 são consideráveis. É possível constatar que os valores da velocidade do ar na Portaria Principal do Porto de Leixões são na realidade bem mais reduzidos que os registados pela estação meteorológica da APDL. Este facto advém, muito provavelmente, da localização desta última estação, que se situa numa zona mais exposta, contrariamente ao local de estudo, influenciando desta forma, as medições.

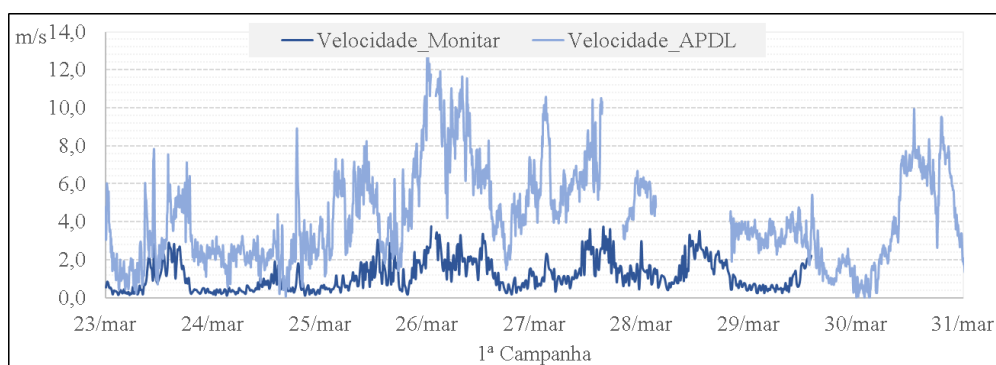


Figura 26 – Registo da velocidade do ar durante a 1ª campanha

Relativamente aos poluentes monitorizados, iniciou-se a análise pelos contaminantes medidos no exterior.

Na Figura 27 estão representados os óxidos de azoto, mais especificamente o monóxido e o dióxido de azoto ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ). Dessa mesma representação é possível constatar que a concentração de  $\text{NO}$  possui picos muito mais elevados, atingindo os  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sendo que o  $\text{NO}_2$  atinge valores até aproximadamente  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para além disso, verifica-se a natural relação entre estes dois poluentes, nomeadamente que o aumento da concentração de  $\text{NO}$  coincide com o aumento de  $\text{NO}_2$ . Também é possível constatar que nos dias 25 e 26 de Março há uma queda no valor da concentração, em que o  $\text{NO}$  atingiu uma concentração média diária de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o  $\text{NO}_2$  um valor máximo horário de  $26,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estes resultados advêm, muito provavelmente, do facto de ser fim-de-semana, não havendo entrada nem saída de mercadoria para o porto, ou seja, não existe movimento de veículos pesados. Com o início da semana, verifica-se outra vez o aumento das concentrações, em que os picos registados, muito possi-



velmente, correspondem a um maior tráfego nesses mesmos instantes. De referir que os valores conseguidos, durante esta campanha, nunca ultrapassaram os limites impostos pelo Decreto-de-Lei n.º 102/2010 [9].

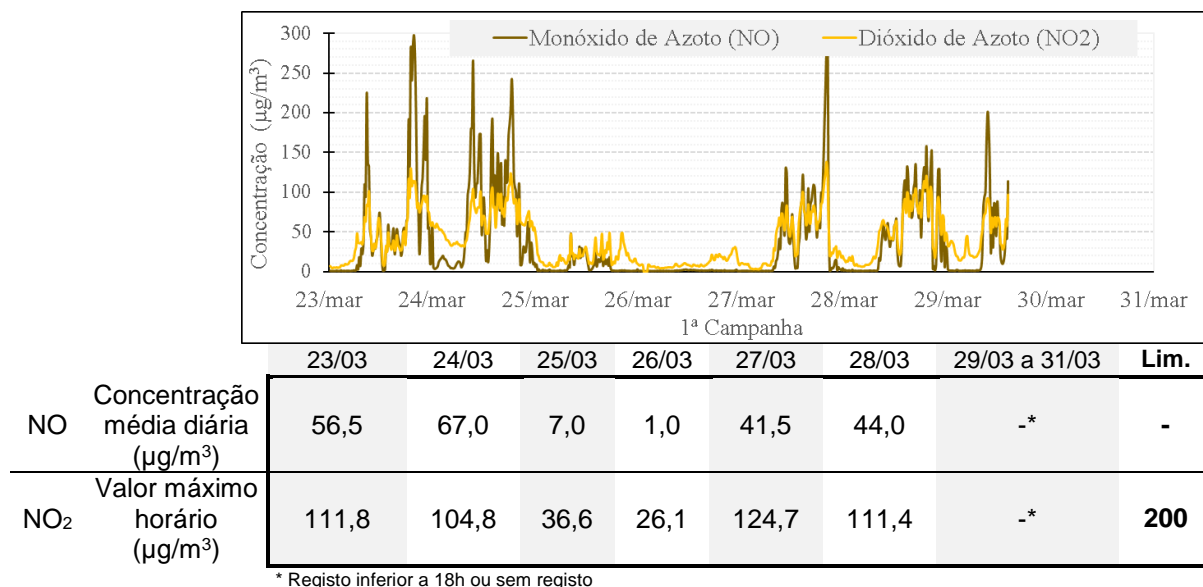
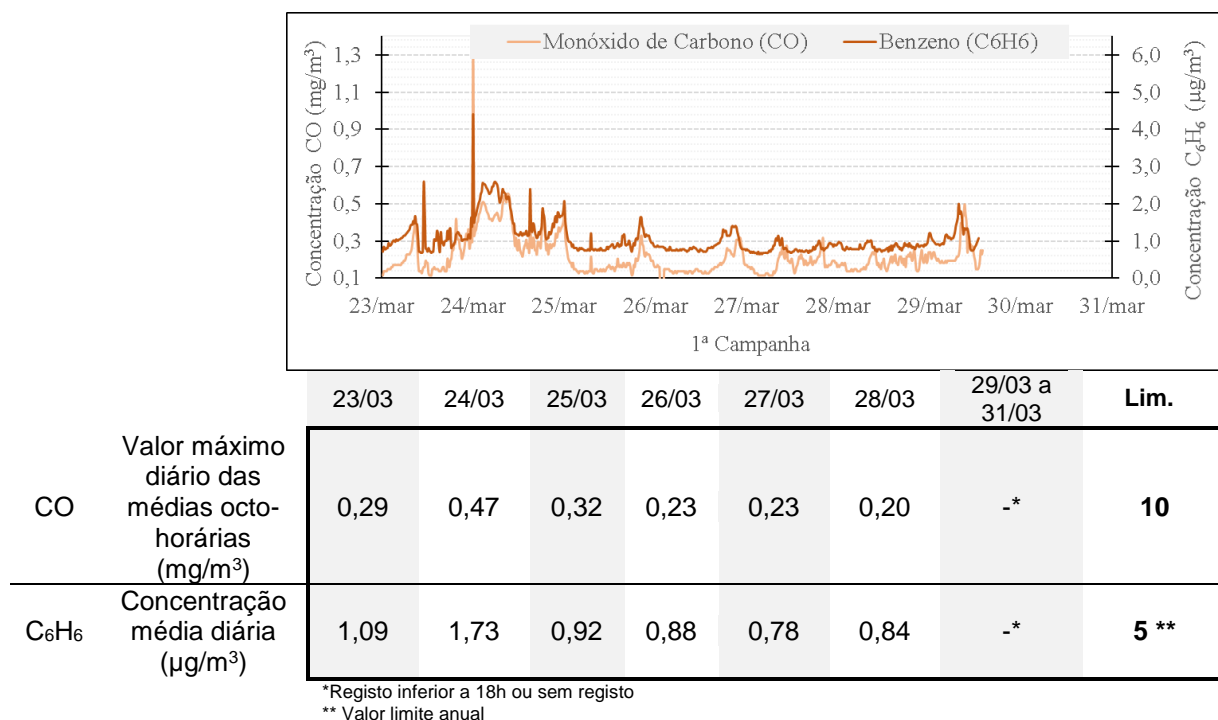
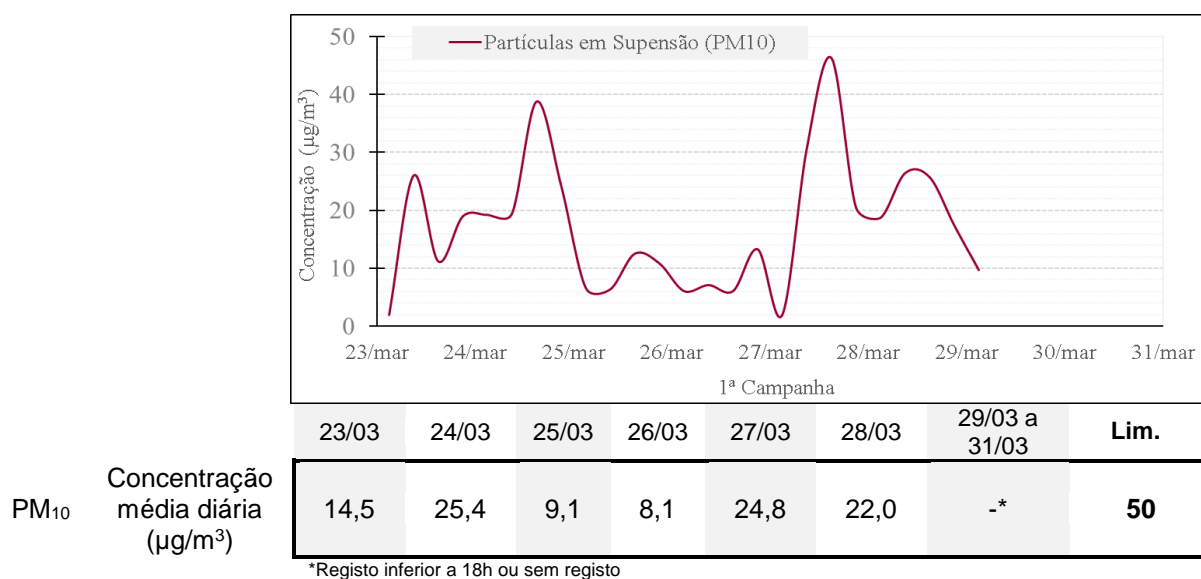


Figura 27 – Variação da concentração de NO e NO<sub>2</sub> durante a 1ª Campanha

Outros dois poluentes registados no exterior, foram o monóxido de Carbono (CO) e o benzeno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), estando representado a evolução da sua concentração na Figura 28. Como é possível observar, o CO e o C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> apresentaram uma concentração muito uniforme ao longo do período de medição. No dia 24 de março, obtiveram-se os valores mais elevados, para ambos os poluentes. De referir que este dia corresponde a uma sexta-feira, sendo um dos dias úteis em que normalmente se verifica maior movimento na Portaria Principal do Porto de Leixões. Segundo o Decreto-de-Lei n.º 102/2010 [9], em momento algum se ultrapassaram os limites impostos para a concentração destes poluentes, podendo-se mesmo afirmar que os valores medidos apresentaram uma grande margem de segurança.

A evolução da concentração das partículas em suspensão de fração 10 (PM<sub>10</sub>) está representada na Figura 29. Este gráfico é ligeiramente diferente dos outros poluentes, uma vez que, como indicado na secção §3.3.2, o registo da concentração das PM<sub>10</sub> foi efetuado de 6 em 6 horas. Deste modo, devido à menor quantidade de valores, o gráfico, comparativamente aos restantes, torna-se menos pormenorizado.

Neste gráfico é possível constatar que durante os dias úteis obteve-se uma maior concentração do referido poluente, enquanto no fim-de-semana (dia 25 e 26 de Março) denotou-se uma queda deste valor. Analogamente aos óxidos de azoto, este poluente deriva essencialmente da poluição automóvel, sendo muito possivelmente a principal causa para estas variações. Adicionalmente, neste período, decorreram umas obras junto ao local de estudo, constituindo uma outra fonte de poluição. Quanto à concentração média diária registada na 1ª campanha, o máximo alcançado correspondeu a aproximadamente metade do valor limite regulamentar (25,4 µg/m³ no dia 24 de Março).

Figura 28 – Variação da concentração de CO e C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> durante a 1ª CampanhaFigura 29 – Variação da concentração de PM<sub>10</sub> durante a 1ª Campanha

Após a conclusão da análise dos poluentes exteriores, seguiu-se o estudo dos poluentes interiores. Efetuou-se uma observação de cada poluente em separado, distinguindo-se as concentrações obtidas para os dois espaços em estudo, designadamente para a sala dos seguranças e para a cabine 5. Apesar da monitorização dos poluentes ter ocorrido apenas na cabine 5, considerou-se que os resultados daí obtidos eram representativos para as restantes cabines.

A análise de cada poluente interior consistiu em observar a evolução da sua concentração durante o período em causa e examinar, mais ao pormenor, a variação num desses dias.

Na Figura 30 – a, está ilustrada a variação da concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) durante o período da medição. Desta figura é possível referir os seguintes comentários:

- Grande diferença nos valores de pico obtidos nos dois espaços, na cabine atingiu-se valores de, aproximadamente, 1600 ppm, enquanto na sala dos seguranças, o máximo registado refere-se a 1000 ppm;
- Quanto à concentração que deve ser objeto de análise (concentração das médias octo-horárias), nos dias em que houve registo para ambos os locais, estes não apresentaram grandes discrepâncias entre si, não ultrapassando o valor limite imposto;

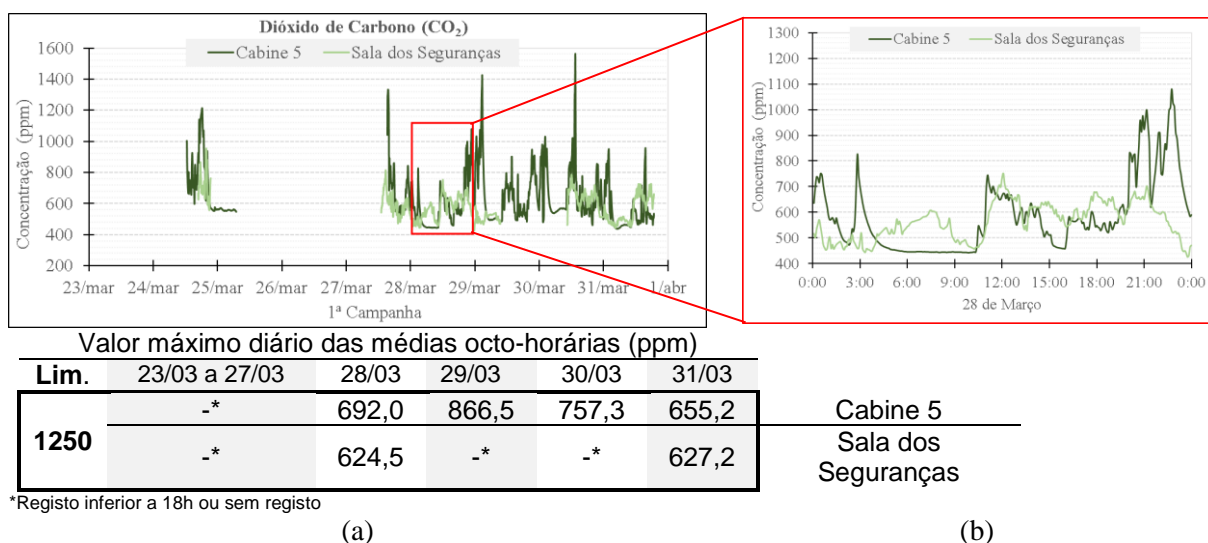


Figura 30 – Variação da concentração de  $\text{CO}_2$  na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 1ª Campanha; (b) Dia 28 de Março

Com base na análise da Figura 30 – b, observa-se que na sala dos seguranças a variação de  $\text{CO}_2$  apresenta um registo mais uniforme comparativamente às cabines. Este facto é facilmente explicado pelo funcionamento distinto que estes locais apresentam. Enquanto a sala dos seguranças está sempre em funcionamento, variando unicamente o número de Seguranças presentes, as cabines trabalham apenas no período das 9h às 21h, existindo períodos no qual não se encontra ninguém neste espaço, influenciando, assim, significativamente a concentração deste poluente. Analisando mais ao pormenor, verifica-se que:

- Na sala dos seguranças, os registos mais elevados decorreram no período das 9h às 21h. Neste período, normalmente encontram-se mais Seguranças neste local (em média 5) reduzindo para 2 a 3 Seguranças, no período noturno, estando em conformidade com o decréscimo registado;
- Na cabine, por sua vez, no dia em análise, o seu funcionamento iniciou-se por volta das 10h (aumento da concentração de  $\text{CO}_2$ ), verificando-se uma queda entre as 12h e as 13h, e outra por volta das 15h. Estes horários estão associados às pausas para almoço e lanche, respetivamente, encontrando-se o espaço desocupado. É ainda possível de se verificar, que no período de não funcionamento, houve aumentos das concentrações de  $\text{CO}_2$ , representando entradas esporádicas de pessoas.

Um outro poluente analisado diz respeito às partículas em suspensão de fração 2,5 ( $PM_{2,5}$ ). Na Figura 31 – a verificam-se valores muito próximos em ambos os locais, excetuando os dois picos registados na cabine 5, associados provavelmente a uma fonte pontual. Analisando detalhadamente a variação ao longo de um dia, Figura 31 – b, constata-se que no período da manhã a concentração das  $PM_{2,5}$  é ligeiramente superior na cabine, sucedendo o contrário no período da tarde.

Quanto à concentração média diária, os valores alcançados foram bastante razoáveis, podendo-se considerar que estão dentro das margens de segurança, mesmo que o valor limite faça referência a um valor anual.

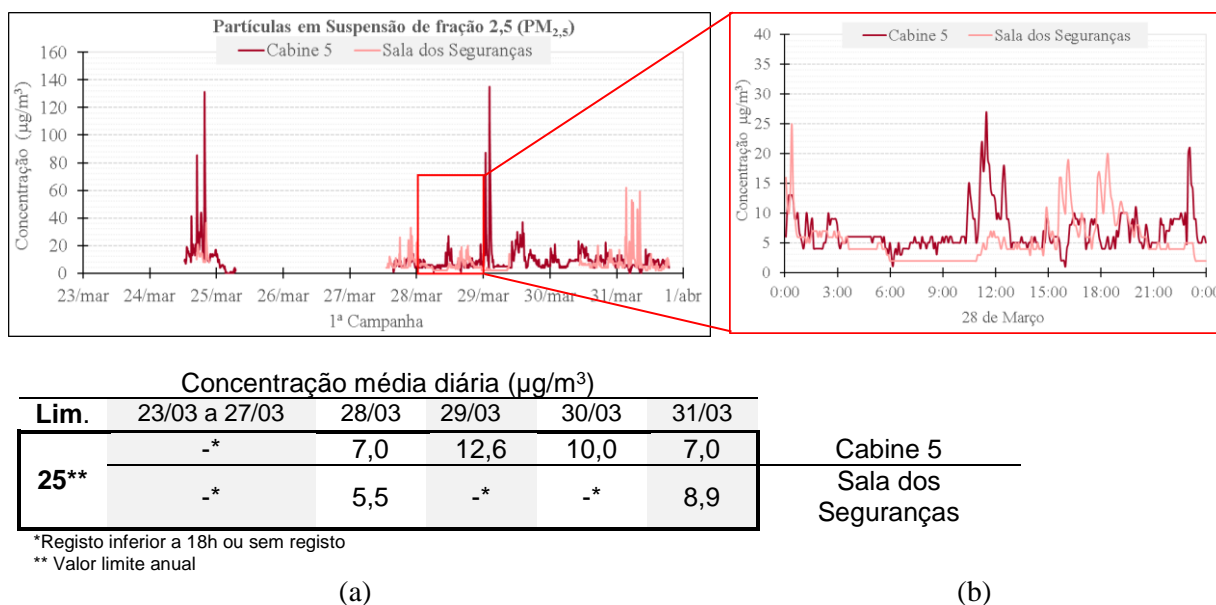


Figura 31 – Variação da concentração das  $PM_{2,5}$  na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 1ª Campanha; (b) Dia 28 de Março

Quanto ao dióxido de azoto ( $NO_2$ ), verificou-se que nas cabines a variação da sua concentração é ligeiramente superior, apresentando alguns picos (Figura 32 – a). Observando o valor máximo horário de cada dia, constata-se que se registaram valores bastante altos na cabine, sendo que nos dias 28 e 29 de Março a concentração ultrapassou o limite de  $200 \mu g/m^3$ . Na sala dos seguranças, dado que o  $NO_2$  é medido conjuntamente com o  $O_3$ , teve que se fazer uma análise com base nos limites impostos para cada um. As concentrações das médias octo-horárias aproximaram-se do limite de  $120 \mu g/m^3$ , no entanto, há que ter em conta, que este limite proposto para o  $O_3$  está influenciado pela concentração de  $NO_2$ .

A partir da análise da Figura 32 – b, observa-se que a cabine apresenta valores superiores desde as 12h até ao final do dia, verificando-se uma ligeira tendência para este acontecimento nos restantes dias (Figura 32 – a), sendo que na sala dos seguranças, é no período da manhã que se observam os maiores registos.

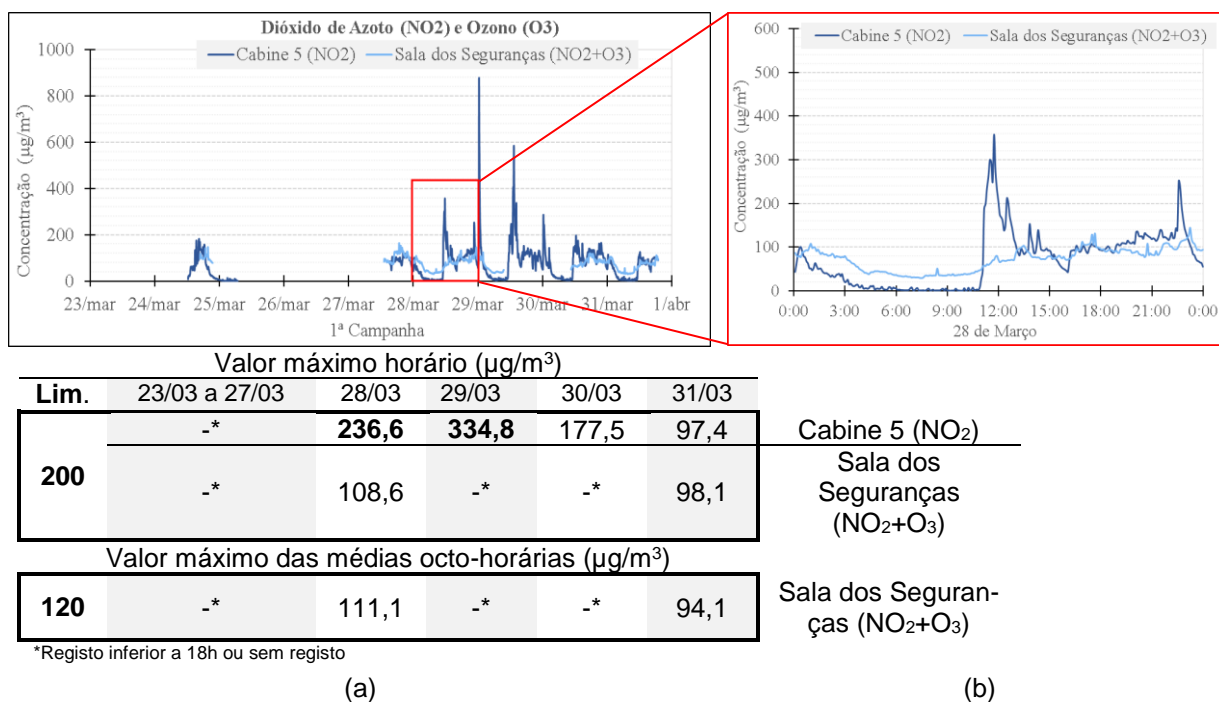


Figura 32 – Variação da concentração de NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 1ª Campanha; (b) Dia 28 de Março

Considerou-se relevante, para os dias em que se ultrapassou o limite de 200 µg/m<sup>3</sup> (dia 28 e 29 de Março, na cabine), verificar quantas vezes por dia este limite foi ultrapassado. Observando a Figura 33 – a verifica-se que para os dois dias em causa, houve dois registos que superaram o valor limite, sendo que ambos se encontram entre as 12h e as 15h.

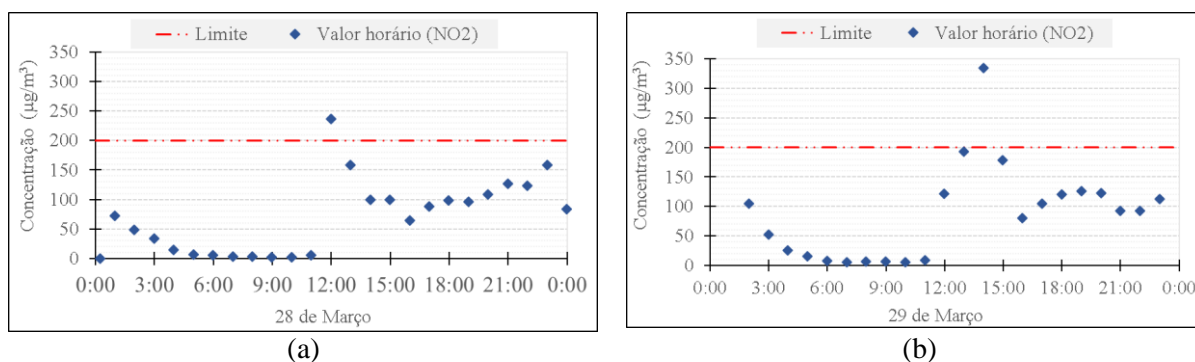


Figura 33 – Valor horário da concentração de NO<sub>2</sub> na cabine 5; (a) 28 de Março; (b) 29 de Março

#### 4.1.1.2. Resultados 2ª Campanha

A segunda campanha decorreu entre o dia 16 e 22 de Maio tendo sido ligeiramente diferente da 1ª campanha. Neste período, tal como indicado no ponto §3.3.2, os sensores exteriores utilizados não foram os mesmos, medindo-se apenas 3 poluentes: o dióxido de azoto, o monóxido de carbono e as partículas em suspensão de fração 2,5. Para além disso, este equipamento (Figura 15 – b) não permitiu

o registo dos dados climáticos, não sendo por isso abordadas nesta secção as diferenças de temperatura e velocidade do ar entre os registos da *Monitar* e da APDL.

Analisando a variação da concentração de NO<sub>2</sub> no exterior (Figura 34), observa-se que atinge pontualmente os 140 µg/m<sup>3</sup>. Os dias 20 e 21 de Março correspondem a dias não úteis em que, para o dia em que houve registo de dados, está representada uma ligeira queda no valor máximo horário. No dia seguinte, por sua vez, o valor máximo horário foi 116,5 µg/m<sup>3</sup>, correspondendo ao máximo atingido neste período e encontrando-se dentro limiar de proteção.

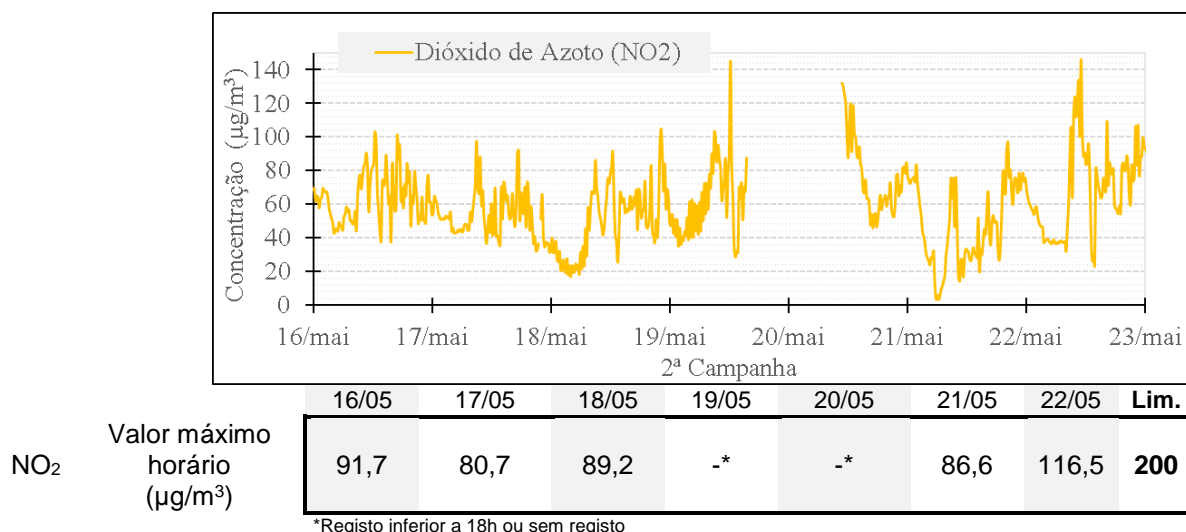


Figura 34 – Variação da concentração de NO<sub>2</sub> durante a 2ª Campanha

Quanto ao monóxido de carbono, verifica-se um registo muito uniforme durante todo o período da campanha, apresentando uma concentração das médias octo-horárias muito reduzida e bastante distante do limite máximo regulamentar (Figura 35).

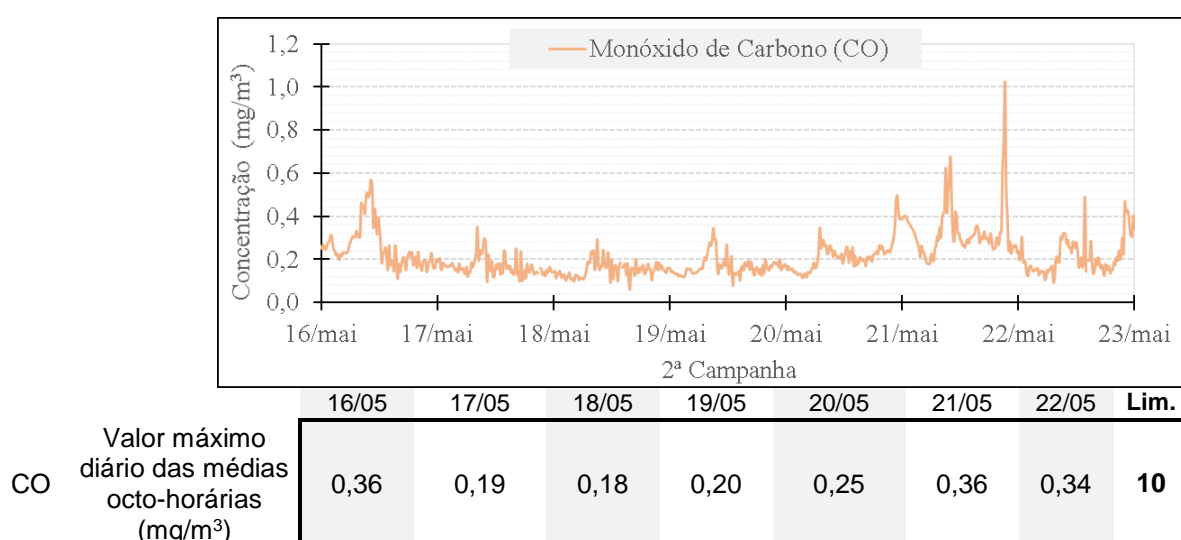


Figura 35 – Variação da concentração de CO durante a 2ª Campanha

Relativamente ao último poluente monitorizado no exterior, nomeadamente as partículas em suspensão de fração 2,5, registou-se uma elevada concentração no dia 16 e 21 de Maio (18,2 e 18,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respetivamente), no entanto, ainda assim, esses valores cumpriram o limite anual imposto (Figura 36).

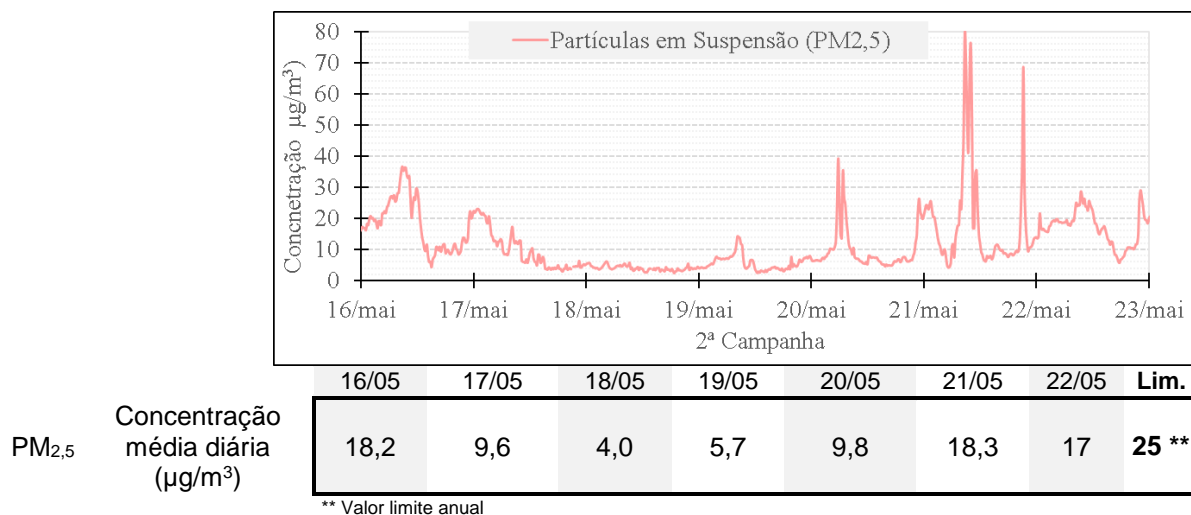


Figura 36 – Variação da concentração das PM<sub>2,5</sub> durante a 2ª Campanha

Após a análise dos poluentes gasosos exteriores, segue-se a análise dos poluentes interiores conforme efetuado na 1ª campanha.

O dióxido de carbono, conforme ilustrado na Figura 37 – a, apresentou grandes variações de concentração na cabine, sendo, essa variação, ligeiramente inferior na sala dos seguranças. No entanto, na sala dos seguranças, registou-se, em determinados dias, valores de concentração das médias octo-horárias bastante superiores aos da cabine. Nos dias 20 e 21 de Maio (dias não úteis) no qual as cabines não se encontram em funcionamento, verificou-se uma queda nas concentrações, sendo que, como esperado, os valores registados encontram-se dentro da gama de concentrações de CO<sub>2</sub> no exterior.

Analisando detalhadamente o dia 18 de Maio (Figura 37 – b), confirma-se que durante o período de funcionamento da cabine há um aumento da produção de CO<sub>2</sub> e uma grande redução no período de almoço (12h-13h). Após o período de funcionamento, constata-se uma diminuição da concentração deste poluente até aos 400 ppm (concentração usualmente encontrada no exterior).

Na sala dos seguranças, visto que tem um funcionamento de 24h, apenas se verificam ligeiras variações, estando de acordo com a quantidade de funcionários presentes.



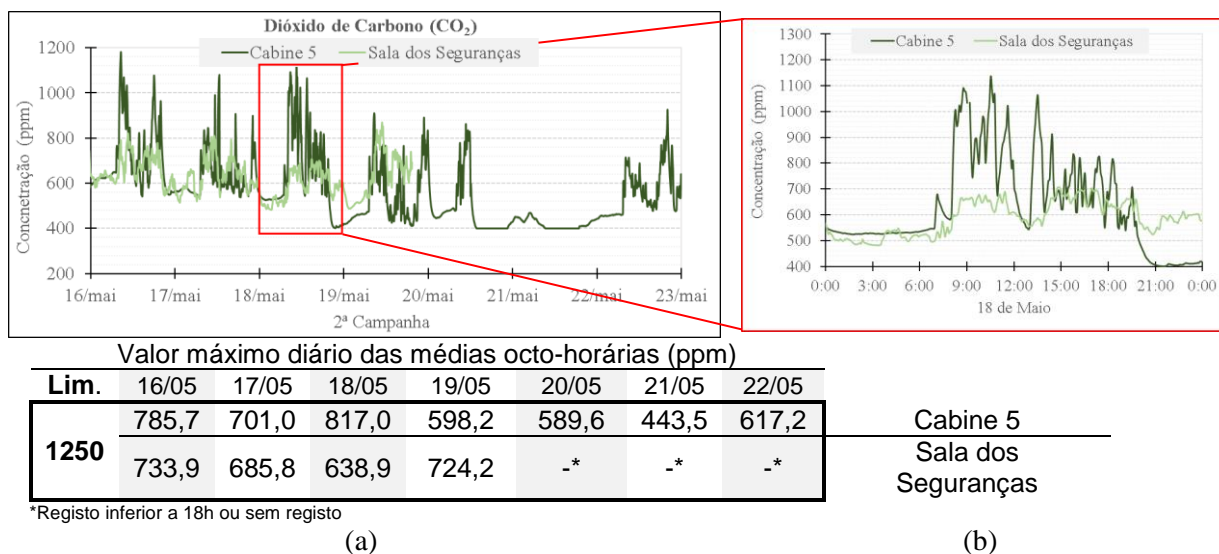


Figura 37 – Variação da concentração de CO<sub>2</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 2ª Campanha; (b) Dia 18 de Maio

As partículas em suspensão de fração 2,5, não apresentam grande variação ao longo da campanha, podendo-se constatar que mesmo nos dias não úteis a sua variação é muito similar aos restantes dias (Figura 38). Desta forma, apesar de umas das suas fontes de poluição resultar da poluição automóvel, pode-se afirmar que a variação da concentração deste poluente deve-se, essencialmente, a outra fonte, podendo ser de origem natural ou antropogénica (relembrar que este poluente tem a capacidade de percorrer longas distâncias). Observando a concentração média diária, verifica-se que na sala dos seguranças o registo foi superior.

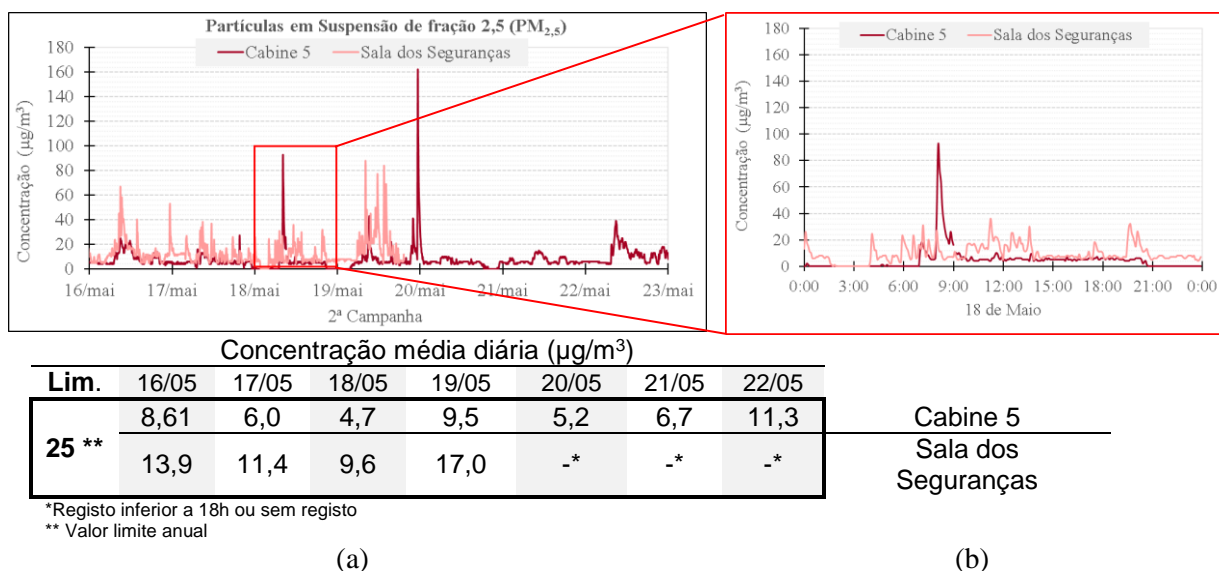


Figura 38 – Variação da concentração das PM<sub>2,5</sub> na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 2ª Campanha; (b) Dia 18 de Maio



Por fim, analisando a concentração de  $\text{NO}_2$  (Figura 39), confirma-se um maior registo na cabine, atingindo valores muito próximos do limiar de proteção ( $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para além disso, observa-se na Figura 39 – a, uma ligeira tendência, tanto na cabine como na sala dos seguranças, no aumento da concentração de  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  a partir aproximadamente das 8h da manhã, momento a partir do qual começa a existir tráfego na Portaria Principal do Porto de Leixões. A partir das 21h, dá-se um ligeiro decréscimo neste parâmetro, comprovando novamente a sua correlação com a intensidade do tráfego.

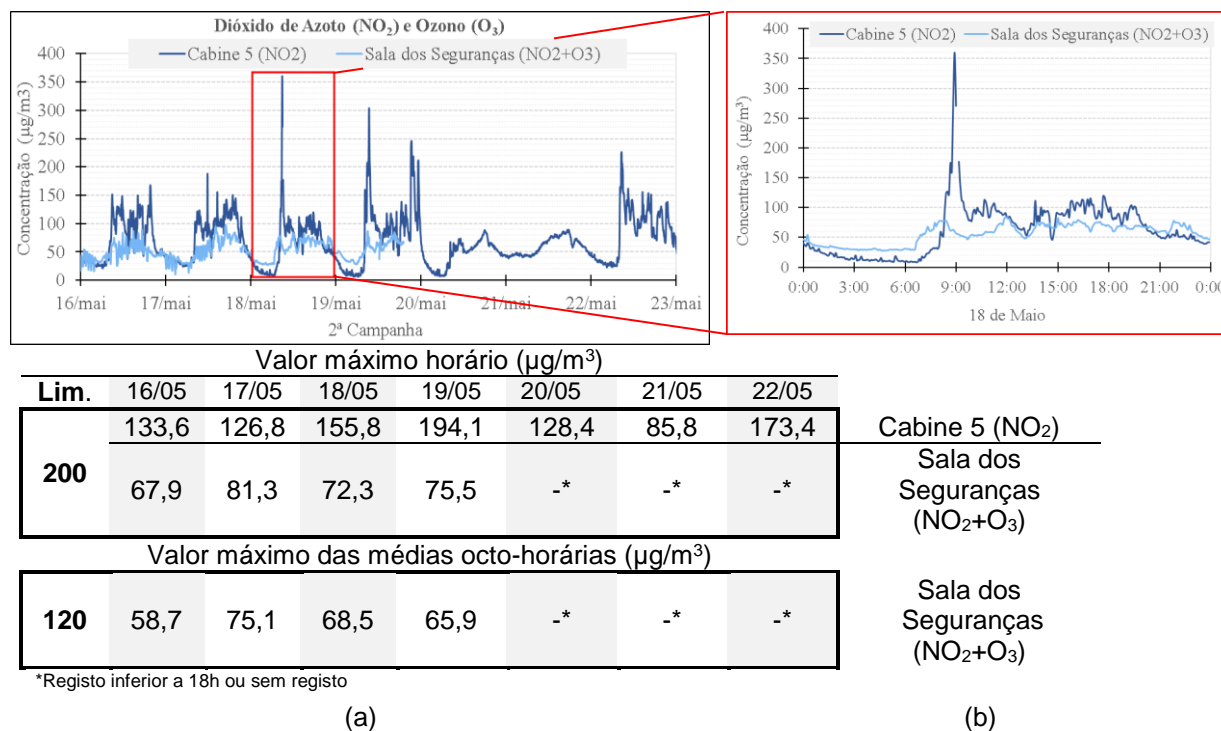


Figura 39 – Variação da concentração de  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  na sala dos seguranças e na cabine 5; (a) Período da 2ª Campanha; (b) Dia 18 de Maio

Na sala dos seguranças, também se verificou o cumprimento dos limites para o  $\text{O}_3$ , analogamente ao realizado para a 1ª Campanha.

#### 4.1.1.3. Resultados dos inquéritos

Neste subcapítulo apresentam-se as respostas dos inquiridos face a um grupo de questões alusivas à qualidade do ar. Estas perguntas estavam integradas nos inquéritos referentes à avaliação do conforto térmico. Considerou-se pertinente distinguir os resultados em função do local do preenchimento dos mesmos, isto é, a distinção entre a perceção da qualidade do ar dos funcionários da sala dos seguranças e dos funcionários das cabines.

Na Figura 40 está representada a perceção dos inquiridos quanto à qualidade do ar no interior e exterior do seu local de trabalho. A Figura 40 – a apresenta algumas diferenças quanto à perceção da qualidade do ar exterior dos funcionários da Portaria Principal do Porto de Leixões. Os funcionários das cabines apresentam muito mais insatisfação quanto a este aspeto, sendo que os funcionários da sala dos seguranças consideram, na sua maioria (70%), o ar exterior como aceitável. De facto, os funcioná-

rios das cabines estão muito mais expostos aos poluentes derivados das emissões dos veículos pesados, influenciando, negativamente a sua percepção.

Quanto à qualidade do ar interior (QAI), mais uma vez, na sala dos seguranças há uma boa percepção do espaço, considerando 86% como aceitável, sendo que nas cabines a opinião já difere, existindo ainda uma percentagem significativa que considera a QAI má ou muito má (40% e 17% respetivamente). O constante contacto dos funcionários das cabines com o exterior e, nomeadamente, com as emissões dos veículos, influencia diretamente a QAI, acrescentando à circunstância da sala dos seguranças estar mais afastada destas fontes de poluição, o que constitui mais um fator para esta diferença de percepções.

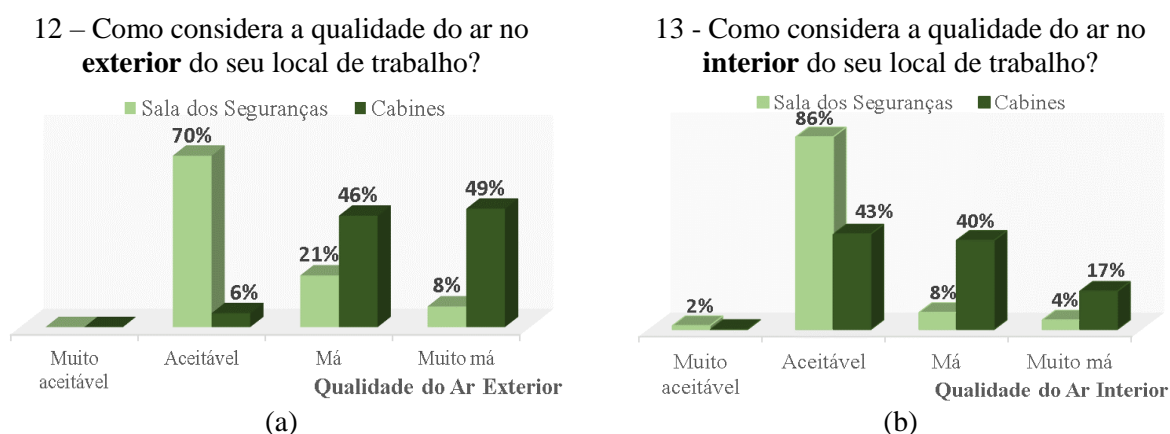


Figura 40 – Resultados dos inquéritos. (a) Qualidade do ar exterior; (b) Qualidade do ar interior

A presença de odores está muitas vezes relacionada com determinados poluentes e com a respetiva concentração. Sendo assim, considerou-se pertinente questionar os funcionários sobre a sua percepção. Da Figura 41 constata-se que em ambos os locais os funcionários têm maioritariamente a sensação da presença de odores ligeiros (94% na sala dos seguranças e 60% nas cabines). Nas cabines, 26% indicam a presença de odores fortes.

14 – Como classifica a qualidade do ar em termos de odores no interior do seu local de trabalho?

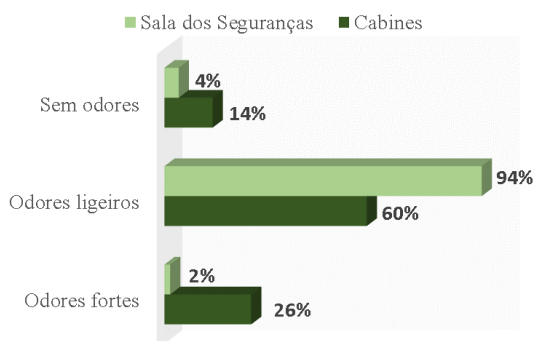


Figura 41 – Odores no interior

As duas últimas questões relativas à qualidade do ar abordam a possível insatisfação e a perceção de ar “pesado” no interior do local de trabalho. Da Figura 42 – a observa-se que 100% dos inquiridos das cabines apresentam insatisfação perante o ar interior, existindo também, por sua vez, uma grande percentagem de inquiridos da sala dos seguranças insatisfeitos (73%). Relativamente à perceção de ar “pesado” é mais comum nas cabines, representando 86% da totalidade (Figura 42 – b).

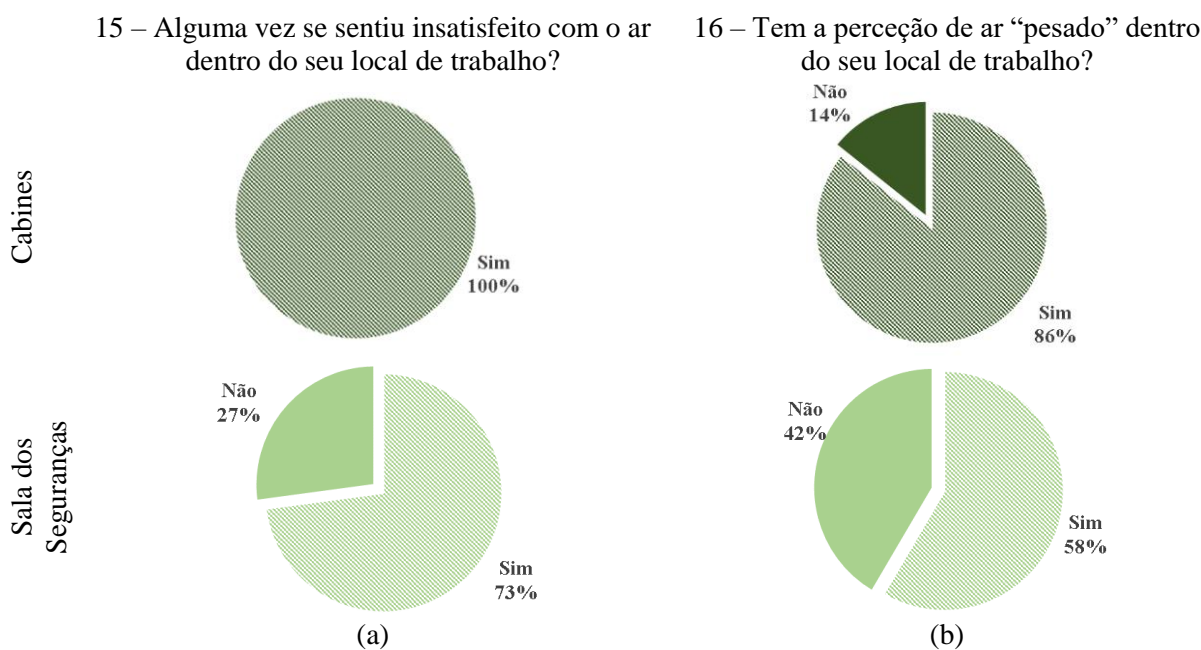


Figura 42 – Resultados dos inquéritos. (a) Insatisfação com o ar interior; (b) Ar “pesado” no interior

Em suma, comparando os resultados obtidos nos dois espaços em estudo, pode-se concluir que há uma grande insatisfação com a qualidade do ar interior nas cabines de portagem. De facto, as cabines estão em constante contacto com os poluentes expelidos dos veículos pesados, justificando assim a insatisfação dos funcionários.

#### 4.1.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO

Os ensaios de avaliação da taxa de ventilação ocorreram unicamente nas cabines pelos motivos referidos no subcapítulo §3.4. Em cada uma, realizaram-se duas medições distintas. A primeira com a janela fechada (JF) e a segunda com a janela aberta (JA). Desta forma, por cada ensaio em cada cabine obtiveram-se dois resultados similares aos representados na Figura 43.

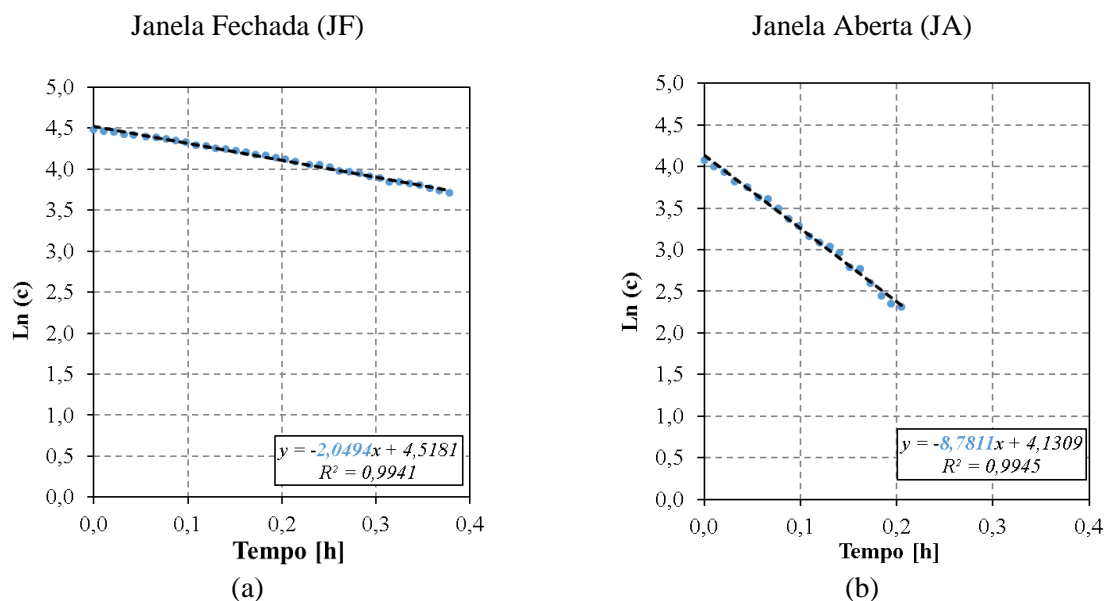


Figura 43 – Variação do logaritmo neperiano da concentração de SF6 em função do tempo na CA2; (a) Janela fechada; (b) Janela aberta

Os gráficos representados dizem respeito a um dos ensaios realizados na cabine 2. Desses mesmos gráficos é possível constatar que, como seria previsível, a taxa de ventilação é muito menor na condição de JF comparativamente com a condição de JA (declive JF < declive JA). Como indicado no capítulo da metodologia, este declive corresponde às renovações horárias.

Para melhor interpretação, representa-se graficamente (Figura 44 – a) as médias das renovações horárias por local, diferenciando as duas condições. O valor entre parênteses corresponde ao número de ensaios realizados. Na Figura 44 – b estão tabelados os valores médios das renovações horárias, juntamente com o respetivo desvio-padrão.

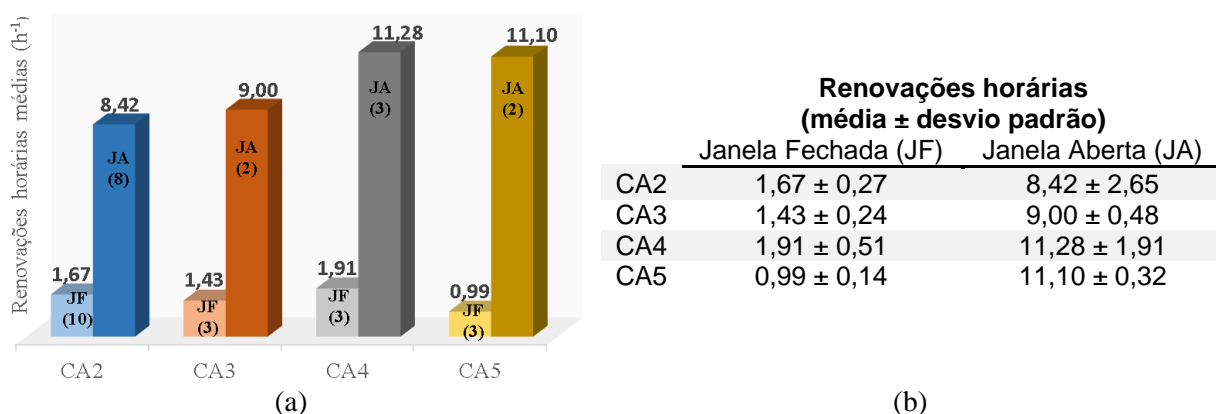


Figura 44 – Renovações horárias médias (a) Gráfico resumo; (b) Quadro resumo

Segundo a Figura 44 verifica-se que apesar das cabines serem construtivamente iguais, apresentam renovações horárias ligeiramente diferentes. No entanto, a ordem de grandeza, para a mesma condição é similar. As diferenças observadas estão possivelmente associadas às distintas condições climáticas registadas no momento dos ensaios e a diferença na permeabilidade de cada cabine. Para além disso, verifica-se que as renovações horárias mesmo para a condição de janela fechada são relativamente elevadas.

## 4.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este subcapítulo debruça-se sobre alguns dos resultados obtidos anteriormente. Inicialmente analisam-se as diferenças entre as duas campanhas de monitorização, através da avaliação das concentrações obtidas para alguns poluentes. Seguidamente compara-se a perceção da qualidade do ar dos funcionários dos dois espaços em estudo com as concentrações calculadas e, por fim, avalia-se a relação dos resultados do ensaio de determinação da taxa de ventilação com a velocidade do vento.

Quanto aos resultados obtidos na monitorização exterior, achou-se pertinente correlacionar esses valores com a quantidade de veículos que atravessam diariamente a Portaria. No Quadro 16 está indicado o número de veículos que entraram e saíram da Portaria Principal do Porto de Leixões, em cada dia de cada campanha. Os dias a sombreado, com a cor mais escura, referem-se aos dias não úteis.

Quadro 16 – Número de veículos que entraram e saíram da Portaria Principal do Porto de Leixões durante as campanhas

	1ª Campanha								
	23/03	24/03	25/03	26/03	27/03	28/03	29/03	30/03	31/03
Nº de veículos	3790	3632	504	6	3762	3748	3676	3748	3786
	2ª Campanha								
	16/05	17/05	18/05	19/05	20/05	21/05	22/05		
Nº de veículos	3768	3680	3842	4010	250	6	3956		

Na Figura 45 – a está ilustrada a variação dos valores máximos horários do NO<sub>2</sub> medido, para cada dia, em ambas as campanhas. É possível denotar que as concentrações registadas foram ligeiramente inferiores na segunda campanha, sendo que o máximo registado correspondeu, para ambas, a uma segunda-feira. Analisando ainda a variação do número de veículos, é possível averiguar a boa relação com a variação de NO<sub>2</sub>. Essa relação está demonstrada na Figura 45 – b, tendo-se obtido um coeficiente de determinação de 0,98, para a primeira campanha, e de 0,84, para a segunda. Desta forma, pode-se concluir que a principal fonte de contaminação de NO<sub>2</sub> na Portaria deriva da poluição dos veículos.

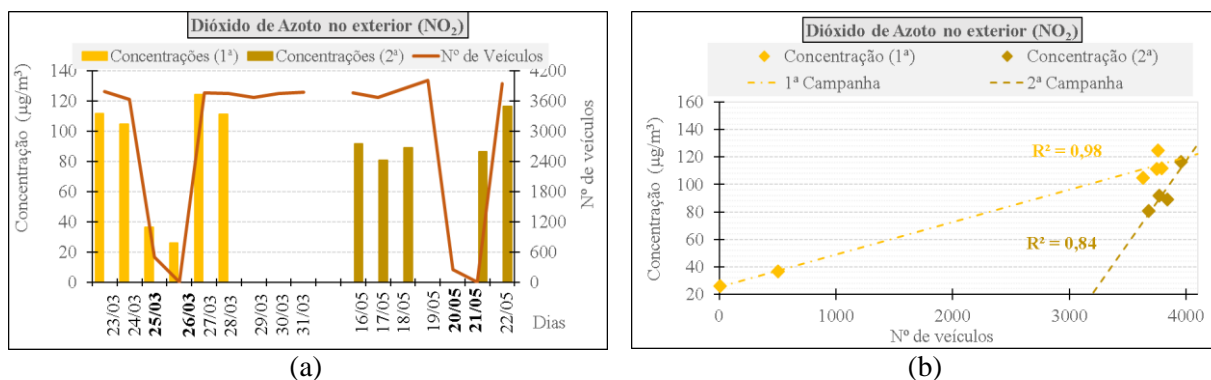


Figura 45 – (a) Variação da concentração de NO<sub>2</sub> e do número de veículos nas duas campanhas; (b) Relação entre o número de veículos e a concentração de NO<sub>2</sub>

Na análise da 1ª campanha, verificou-se a mesma variação para o NO, estando representado na Figura 46 a forte relação com o número de veículos que atravessa a Portaria ( $R^2=0,88$ ).

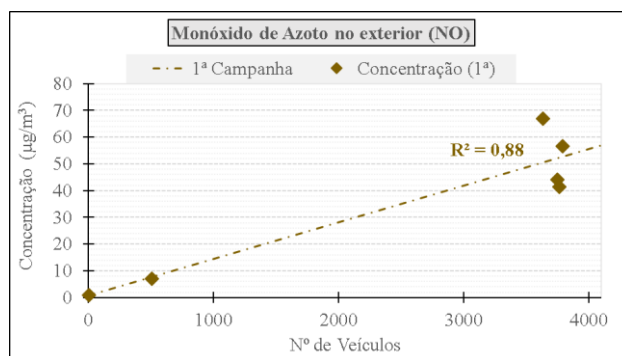


Figura 46 – Relação entre o número de veículos e a concentração de NO

O monóxido de carbono (CO) foi o outro poluente medido em ambas as campanhas, para além do NO<sub>2</sub>, tendo-se considerado assim relevante comparar as concentrações das médias octo-horárias obtidas. Da Figura 47 apura-se que na primeira campanha obteve-se o maior pico de concentração, sendo possível afirmar que na globalidade não existe grande variação da concentração deste poluente ao longo dos diferentes dias. Considerou-se então pertinente representar, analogamente ao NO<sub>2</sub>, a variação do número de veículos. Da análise individual do CO, constatou-se que a sua variação ao longo da campanha teve um registo bastante uniforme, comprovando que a variação da intensidade do tráfego não apresenta uma relação evidente com a sua concentração.

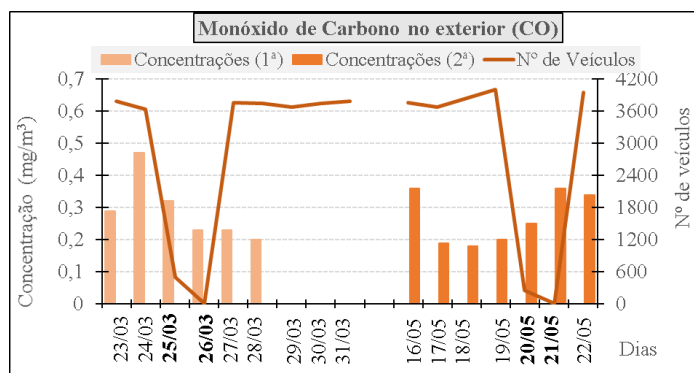


Figura 47 – Variação da concentração de CO e do número de veículos nas duas campanhas

As partículas em suspensão de fração 10 ( $PM_{10}$ ), poluente monitorizado apenas na 1ª campanha, também apresentaram uma determinada influência com o número de veículos presentes na Portaria. Essa relação está apresentada na Figura 48, apresentando um coeficiente de determinação de 0,73.

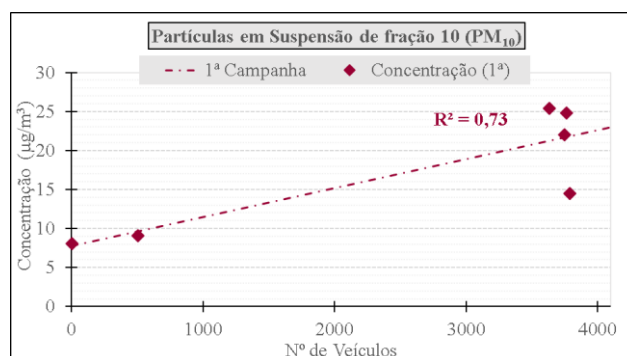
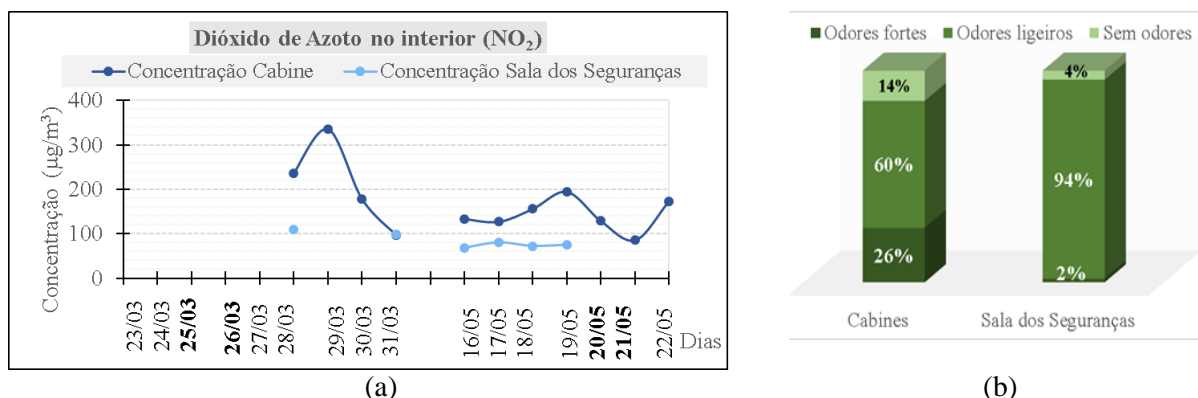


Figura 48 – Relação entre o número de veículos e a concentração de  $PM_{10}$

O benzeno ( $C_6H_6$ ) e as partículas em suspensão de fração 2,5 ( $PM_{2,5}$ ), poluentes medidos em distintas campanhas, não apresentaram qualquer relação com este parâmetro (número de veículos).

Outro aspeto relevante dos resultados analisados foram as distintas percepções de odores obtidas nas cabines e na sala dos seguranças e as diferenças nas concentrações de dióxido de azoto ( $NO_2$ ). Na Figura 49 – b está expresso novamente as opiniões dos inquiridos quanto à presença de odores, denotando-se maior percepção de odores para as cabines. Curiosamente o  $NO_2$ , poluente bastante característico pelo seu odor, apresenta normalmente uma maior concentração na cabine do que na sala dos seguranças (Figura 49 – a), estando em conformidade com a percepção analisada.



Figura 49 – (a) Concentração de NO<sub>2</sub> nas duas campanhas; (b) Odores no interior

Relativamente aos ensaios de ventilação, avaliou-se a relação entre as renovações horárias e a velocidade do vento. No entanto, como constatado no ponto §4.1.1.1, a velocidade do vento registada pela estação meteorológica da APDL apresentava grandes discrepâncias relativamente à velocidade sentida na Portaria Principal do Porto de Leixões. Sendo assim, apenas se utilizaram os valores dos ensaios de ventilação realizados na semana da 1<sup>a</sup> Campanha da avaliação da qualidade do ar, para correlacionar com as velocidades registadas pela estação meteorológica da *Monitar*. Na Figura 50 está evidenciada graficamente essa relação.

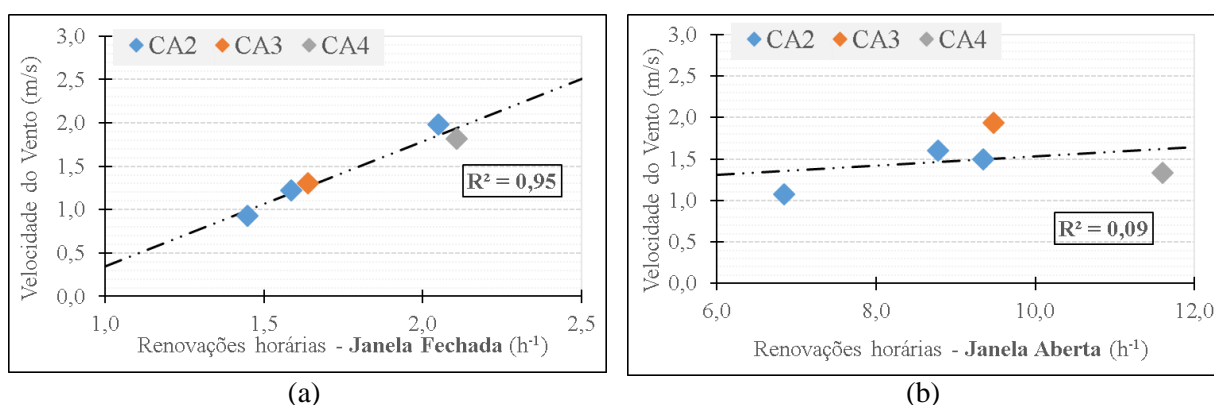


Figura 50 – Relação entre as renovações horárias e a velocidade do vento; (a) Janela fechada; (b) Janela aberta

A condição de janela fechada apresentou grande influência do vento, isto é, verifica-se que há medida que a velocidade do vento aumenta, regista-se uma maior renovação horária ( $R^2=0,95$ ). Analisando a Figura 50 – b (janela aberta), constata-se que se evidenciou uma fraca relação com a velocidade do vento. Os fluxos de ar nesta condição poderão estar influenciados por outros fatores, como a diferença de temperatura entre o ar interior e o exterior e o movimento do ar devido à passagem dos veículos.



### **4.3. SÍNTESE CRÍTICA**

Após a detalhada análise e discussão dos resultados obtidos para avaliar a qualidade do ar é possível retirar algumas conclusões:

- A elevada contribuição dos veículos para a contaminação do ar exterior e interior, sendo um aspeto bastante preocupante dada a elevada quantidade de viaturas que se movimentam no local de estudo;
- A concentração de poluentes no exterior é mais percecionada pelos funcionários das cabines. Este facto deriva provavelmente do constante contacto que as cabines possuem com o exterior, nomeadamente com a poluição dos veículos. Por sua vez, a sala dos seguranças encontra-se mais protegida dos contaminantes exteriores;
- Nas cabines registou-se, no seu interior, não só uma elevada concentração de poluentes mas também uma pior classificação para a QAI atribuída pelos funcionários;
- Os ensaios de ventilação realizados nas cabines demonstraram que estes espaços possuem uma elevada renovação horária, mesmo na condição de janela fechada. Este valor poderá contribuir negativamente para a QAI, uma vez que, como já constatado, o ar exterior apresenta níveis de poluição consideráveis, permitindo que o fluxo de ar contamine o ar dentro da cabine.



# 5

## RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CONFORTO TÉRMICO

### 5.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR

Os ensaios de avaliação do conforto térmico decorreram entre o mês de Março e o mês de Maio, espaçadamente, correspondendo ao todo a 12 dias de ensaios, com 5 medições por dia, seguindo o planeamento e os procedimentos descritos no capítulo §3. Durante este período registaram-se alguns dados climáticos, nomeadamente a temperatura do ar, a velocidade e direção do vento, através de uma estação meteorológica da APDL. O conhecimento sobre a variação destes parâmetros climáticos é de elevado interesse dada a sua influência no conforto térmico de um indivíduo. Na Figura 51 está representada a variação da temperatura exterior, sendo possível constatar que a média de temperatura desse período vai de acordo com a estação do ano associada, isto é, a estação primaveril. Contudo também se constata que durante este período alcançou-se valores de temperatura extremos e discrepantes, conduzindo a uma amplitude de temperatura de 24,7 °C. Na penúltima semana de Março registaram-se os valores mais baixos de temperatura (4,4 °C), atingindo os valores máximos de temperatura no mês de Abril.

De realçar que a Figura 51 também apresenta a variação da temperatura no mês de Fevereiro, mesmo os ensaios só tendo iniciado no dia 9 de Março. Esta representação é de interesse dada a influência que a temperatura de um mês anterior possui face a um dos modelos de avaliação do conforto térmico, nomeadamente o modelo adaptativo da ASHRAE 55.

Outro aspeto a referir é a semelhança dos valores de temperatura registados pela APDL e pelos sensores da *Monitar*, como constatado anteriormente na Figura 25, validando assim a utilização destes dados para avaliação do conforto térmico, uma vez que são representativos do local em estudo.

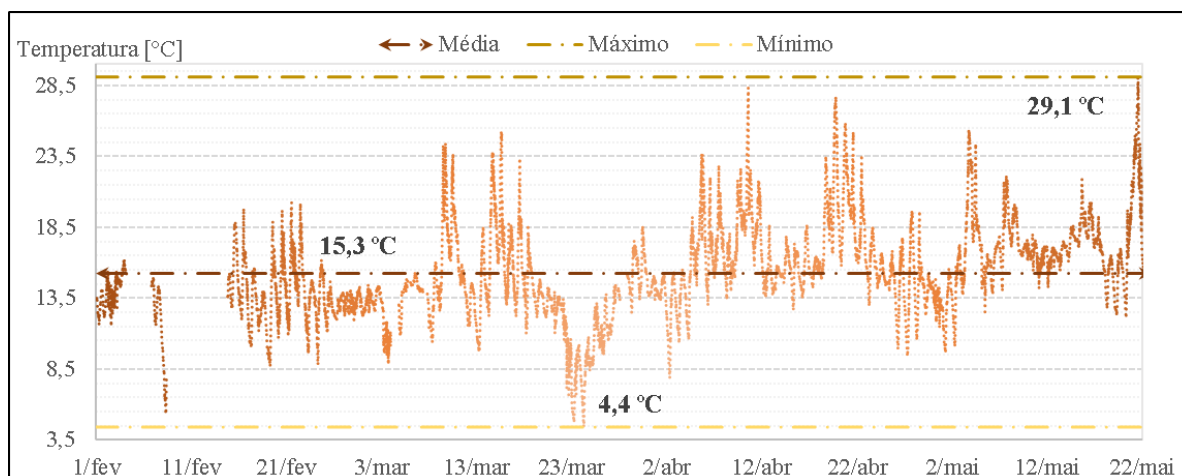
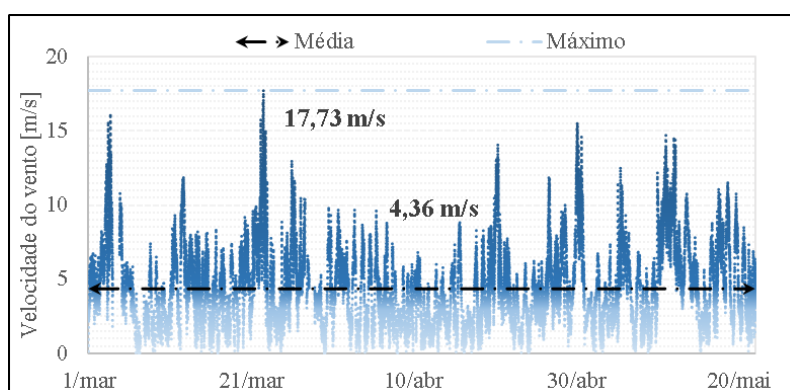
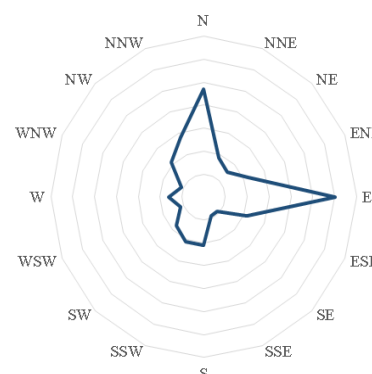


Figura 51 – Variação da temperatura exterior

A velocidade e a direção do vento estão representadas na Figura 52, unicamente para o período de medições. Relativamente à velocidade do vento, (Figura 52 – a), observam-se grandes variações deste parâmetro, tendo sido atingida a velocidade máxima de 17,73 m/s. Quanto à direção do vento, Este e Norte são as direções predominantes (Figura 52 – b).



(a)



(b)

Figura 52 – (a) Variação da velocidade do vento no período de medição; (b) Variação da direção do vento no período de medição

### 5.1.2. RESULTADOS DOS INQUÉRITOS

Dos inquéritos distribuídos aquando a realização dos ensaios da avaliação do conforto térmico, analisaram-se os seguintes parâmetros:

- Sensação térmica (pergunta nº1);
- Avaliação térmica (pergunta nº2);
- Tolerância térmica (pergunta nº3);
- Preferência térmica (pergunta nº4);
- Existência de algum desconforto localizado (pergunta nº5);
- Resistência térmica do vestuário (pergunta nº6);

- Possíveis comportamentos adotados com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico (pergunta nº8 e nº9);
- Ordem de importância dos fatores de avaliação da qualidade do ambiente interior (pergunta nº7);

No total dos ensaios, obtiveram-se 153 inquéritos, correspondendo 118 dos inquéritos a funcionários da sala dos seguranças (SS) e 35 a funcionários das cabines (CA). Desta amostra é possível constatar que dos inquiridos na sala dos seguranças correspondem quase na totalidade a indivíduos do sexo masculino (98%), sendo que nas cabines, contrariamente, a maior percentagem dos inquiridos pertence ao sexo feminino, com uma percentagem de 74% dos inquéritos realizados neste local (Figura 53 - a1 e a2).

Relativamente à faixa etária da amostra, na sala dos seguranças as idades variam desde os 25 anos aos 56 anos, sendo que a faixa etária dos 40 aos 45 anos representa quase metade dos inquiridos (40%). Nas cabines, os inquiridos estão englobados numa faixa etária mais restrita, correspondendo a idades mais jovens, resumindo-se maioritariamente a idades entre os 30 e os 40 anos (Figura 53 – b1 e b2).

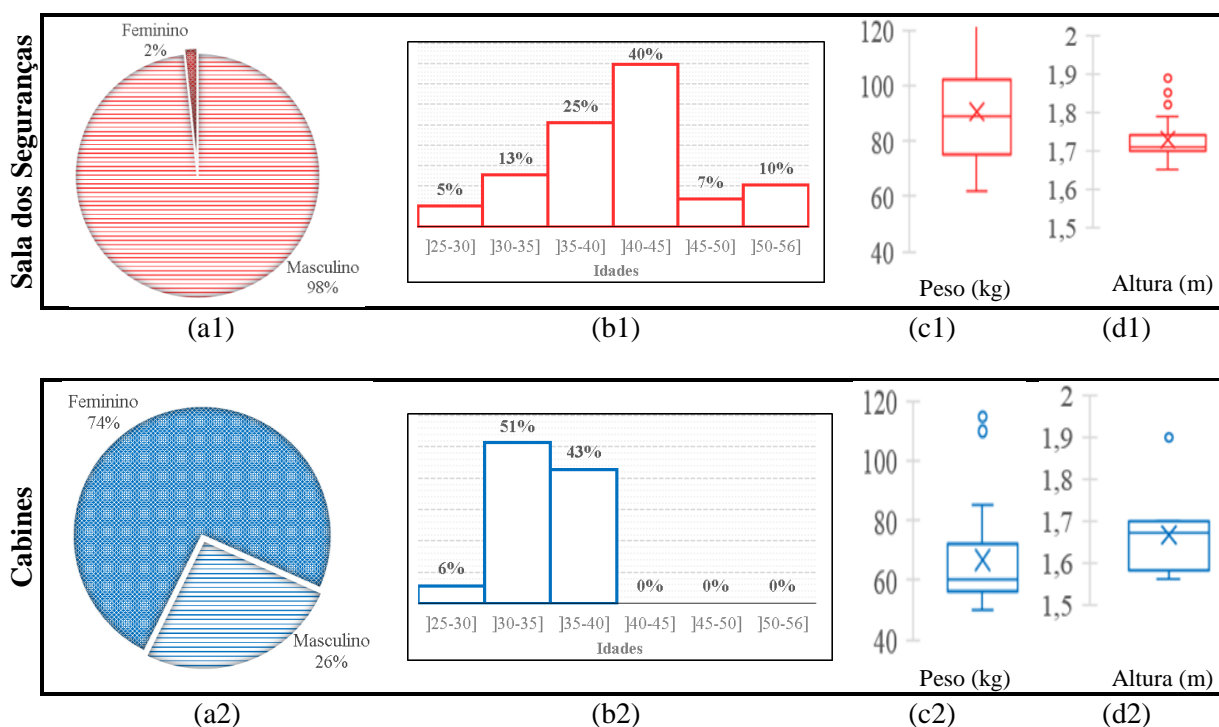


Figura 53 – Caracterização da amostra dos dois locais em estudo; (a1) Sexo SS; (a2) Sexo CA; (b1) Idade SS; (b2) Idade CA; (c1) Peso SS; (c2) Peso CA; (d1) Altura SS; (d2) Altura CA

Relativamente ao peso, constata-se que a média dos inquiridos na sala dos seguranças está próximo dos 90 kg, sendo que nas cabines, a média é consideravelmente mais baixa, correspondendo aproximadamente a 70 kg. De salientar que neste último local, os inquiridos são maioritariamente do sexo feminino, como observado anteriormente. Quanto à altura, a média dos dois locais em estudo não difere muito, estando próxima de 1,7 m de altura. No entanto, observa-se que os funcionários da sala dos seguranças apresentam alturas muito próximas (amostra pouco dispersa), enquanto nas cabines há uma maior dispersão nos valores desta variável (Figura 53 - c1, c2, d1 e d2).

Em complemento a estes dados pessoais, questionaram-se os funcionários da Portaria Principal do Porto de Leixões quanto à regularidade na prática de exercício físico e quanto ao seu estado de saúde no dia do ensaio. Relativamente à prática de exercício físico, Figura 54, verifica-se que 60% dos funcionários da sala dos seguranças praticam algum exercício físico (1 a 3 vezes e mais que 3 vezes), enquanto 57% dos funcionários das cabines não praticam qualquer atividade.

Quanto ao estado de saúde, colocaram-se as seguintes hipóteses aos inquiridos: sentir-se melhor que o normal, normal ou pior que o normal. Desta questão obteve-se que 99% dos funcionários da sala dos seguranças sentiam-se normal, sendo que dos funcionários das cabines, para esta mesma opção, representou 91%. Só se verificaram registos para a opção sentir-se pior que o normal, nos funcionários das cabines, correspondendo apenas a uma percentagem de 3%.

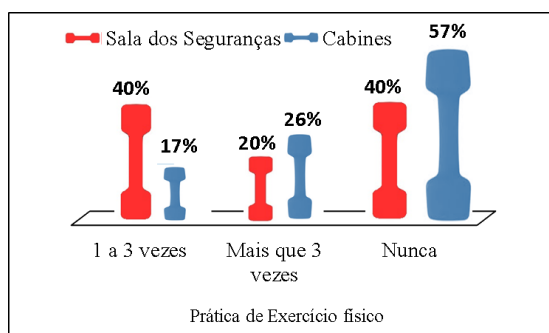


Figura 54 – Regularidade na prática de exercício físico

Definida e caracterizada a amostra, segue-se com a apresentação e análise dos resultados dos parâmetros acima descritos, pertencentes aos inquiridos. De referir, que ao longo de um dia de ensaios, as medições dividiam-se em medições pela parte da manhã e medições no período da tarde. Das 5 medições realizadas num dia, as duas medições associadas à sala dos seguranças, eram realizadas nos dois períodos distintos, distribuindo as restantes 3 medições relacionadas às cabines pelo dia, isto é, tanto se realizavam duas medições na parte da manhã e outra no período da tarde, como vice-versa. No Quadro 17 está indicado o horário respetivo de cada período.

Quadro 17 – Distinção dos dois períodos de um dia de ensaios

Período do dia	Horário
Manhã	9h – 13h
Tarde	13h – 17h

Sempre que possível e sempre que se considerou relevante, fez-se uma análise dos resultados destes parâmetros com base na distinção dos dois períodos.

#### 5.1.2.1. Percepção térmica do ambiente interior

A análise da percepção térmica de um indivíduo relativamente ao ambiente interior em que se encontra foi abordada com questões relativas à sensação, avaliação, tolerância e preferência térmica.

Para a análise da sensação térmica (st) realizou-se a pergunta “Como se sente neste momento?”, estando representada na Figura 55 a distribuição das respostas dos inquiridos, em percentagem, segundo os espaços em estudo. Na sala dos seguranças verifica-se que a maior parte dos inquiridos indicaram uma sensação térmica de neutralidade ( $st=0$ ), principalmente no período da manhã. Observa-se ainda que a sensação de desconforto está associada preferencialmente a sensações de calor ( $st > +1$ ), contribuindo com maior peso para a percentagem de insatisfeitos o período da manhã.

Quanto às cabines, a sensação térmica de neutralidade ( $st=0$ ) é a sensação que também prevalece com maior percentagem (44% para o período da manhã e 58% para a tarde), observando-se uma determinada quantidade de insatisfeitos tanto para sensações de calor ( $st > +1$ ), como para sensações de frio ( $st < -1$ ). O desconforto devido ao calor tem maior importância na parte da tarde, contrariamente ao frio, apresentando um maior contributo para insatisfeitos no período da manhã.

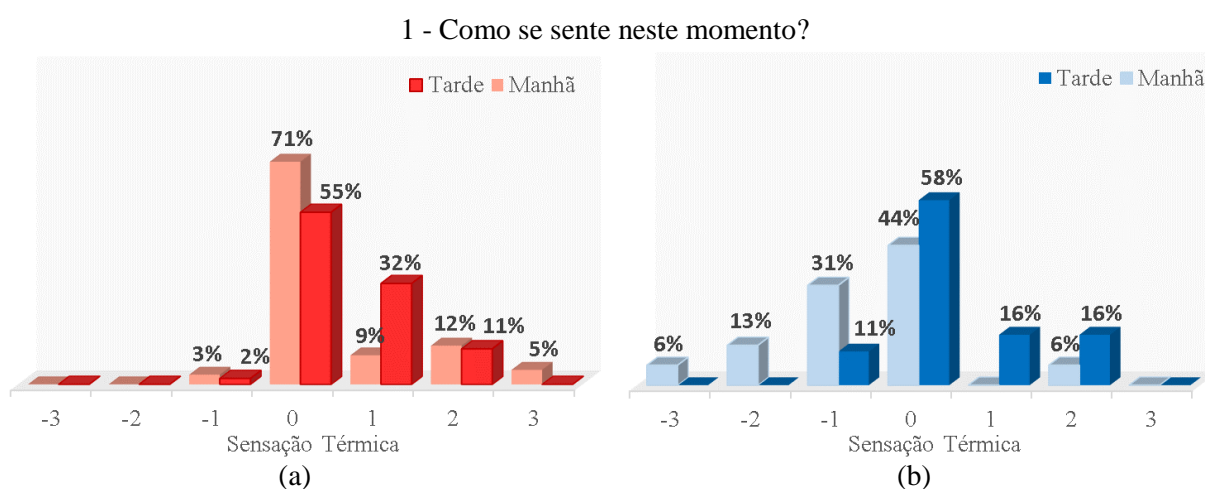


Figura 55 – Sensação térmica dos indivíduos; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

A avaliação térmica do ambiente foi analisada recorrendo à questão “Neste momento como classifica o ambiente interior?”. Das hipóteses fornecidas aos inquiridos, constata-se que na sala dos seguranças há uma boa classificação do ambiente do qual trabalham, sendo que grande parte dos inquiridos, tanto no período da manhã como da tarde consideraram o ambiente térmico confortável (Figura 56 – a). Por sua vez, a classificação do ambiente térmico sentido pelos funcionários que trabalham nas cabines não é consensual (Figura 56 – b). A classificação com maior percentagem diz respeito ao ambiente ser ligeiramente desconfortável, existindo inquiridos que o consideram como desconfortável (25% de manhã e 11% à tarde) e mesmo muito desconfortável (6% no período da manhã). De relembrar que estes dois locais de estudo apresentam características diferentes a nível construtivo (ver §3.2.1), sendo que a sala dos seguranças possui sistema de climatização, contrariamente às cabines. Este fator pode estar na origem e na influência das distintas classificações obtidas para os dois espaços.

## 2 - Neste momento como classifica o ambiente interior?



Figura 56 – Avaliação térmica do ambiente; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

Relativamente à análise da tolerância térmica recorreu-se à pergunta “Na sua opinião, o ambiente a nível térmico é?”. Por observação da Figura 57, verifica-se que a tolerância térmica dos funcionários que se encontram na sala dos seguranças é bastante boa, sendo muito reduzida a percentagem de indivíduos que consideram o ambiente pouco ou muito pouco tolerável. Relativamente aos valores do período da manhã e da tarde não se observa uma grande discrepância entre eles.

Dos questionários dos funcionários das cabines, denota-se algumas discrepâncias quanto às respostas da tolerância do ambiente térmico. Cerca de metade dos inquiridos para ambos os períodos responderam que o ambiente era tolerável, no entanto outra percentagem significativa dos inquiridos classificaram o ambiente térmico como pouco tolerável. Existe ainda uma pequena percentagem (6% de manhã e 5% à tarde) que identifica o espaço mesmo como intolerável. Quanto há distinção dos períodos da manhã e da tarde, não é possível retirar alguma conclusão, podendo esta intolerância do espaço estar associada a sensações quentes ou sensações frias.

## 3 - Na sua opinião, o ambiente a nível térmico é?

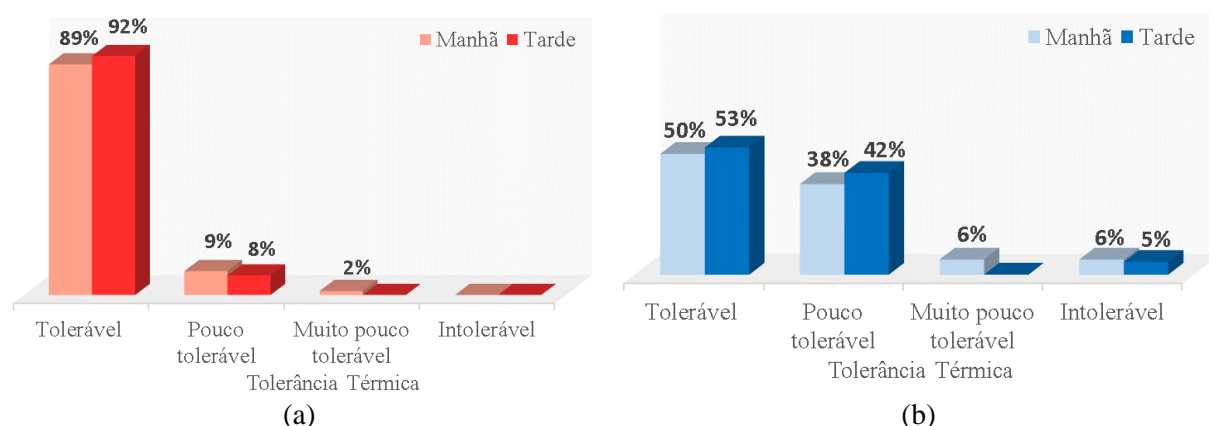


Figura 57 – Tolerância térmica dos indivíduos; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

A preferência térmica (pt) foi avaliada utilizando a questão “Neste momento, como gostaria de estar?”. Na sala dos seguranças constata-se que maior parte dos inquiridos gostaria de permanecer igual (pt=0), sendo que os restantes inquiridos tinham preferência em estar ligeiramente mais frio ou simplesmente



mais frio ( $pt = -1$  e  $pt = -2$ ) (Figura 58 – a). Estes resultados estão de acordo com a sensação térmica analisada neste local, dado que o desconforto provocado era essencialmente devido ao calor, sendo natural a preferência por temperaturas mais frias. Para além disso, estes resultados estão em linha com a reduzida percentagem encontrada para a intolerância do espaço.

Observando o outro espaço em estudo, as cabines, depara-se com uma percentagem significativa de inquiridos com preferência em estar ligeiramente mais quente e mais quente ( $pt = +1$  e  $pt = +2$ ), principalmente no período da manhã, estando em concordância com a sensação sentida por estes, neste mesmo período (frios:  $st < -1$ ). Denota-se ainda uma preferência em estar ligeiramente mais frio ( $pt = -1$ ) nos períodos da tarde (37%), estando igualmente em conformidade com as sensações térmicas representadas na Figura 55 – b, para esse período ( $st = +1$  e  $st = +2$ ). A preferência em se manter com uma temperatura igual ( $pt = 0$ ) é bastante menor nos funcionários das cabines do que na sala dos seguranças (Figura 58 – a e b).

#### 4 - Neste momento como gostaria de estar?

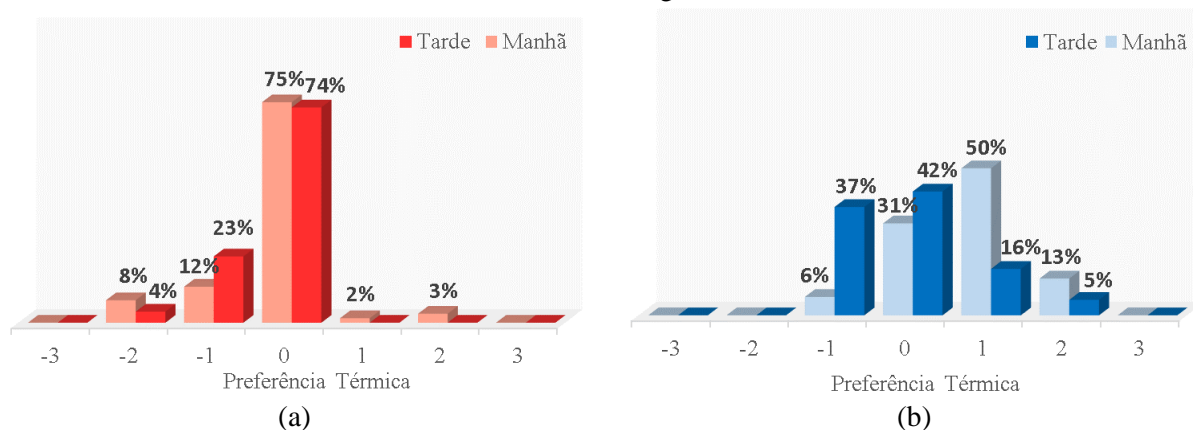


Figura 58 – Preferência térmica dos indivíduos; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

#### 5.1.2.2. Desconforto localizado

A análise do desconforto localizado foi realizada questionando os funcionários sobre os possíveis locais desse desconforto, estando disponível 6 opções (corpo inteiro, pés, pernas, mãos, peito/costas/braços e cabeça), dando a possibilidade de escolher mais do que uma. Se o inquirido se sentisse confortável, simplesmente não preenchia nenhuma das opções. A Figura 59 apresenta a percentagem de indivíduos que demonstraram algum tipo de sensação de desconforto separadamente para os dois locais de estudo. Para além disso, também se contabilizaram os inquiridos que não preencheram esta questão, ou seja, os que não apresentaram qualquer desconforto. Desta forma, observando o gráfico, conclui-se que os inquiridos nas cabines são os que apresentam mais frequentemente algum tipo de desconforto, sendo as mãos e os pés os locais com maior percentagem de desconforto (34% e 31% respetivamente). Da sala dos seguranças, os locais do corpo assinalados com maior percentagem de desconforto sentido corresponderam à zona da cabeça e à zona junto do peito, costas e braços. No entanto, dos funcionários da sala dos seguranças prevalece a sensação de nenhum desconforto localizado (73,7%) (Figura 59).

5 - Caso não esteja confortável, indique as zonas onde sente desconforto.



Figura 59 – Desconforto localizado

#### 5.1.2.3. Resistência térmica do vestuário

A obtenção da resistência térmica do vestuário é fundamental para o cálculo dos índices analíticos (PMV e PPD), tendo sido obtida através da descrição detalhada das peças de roupa, solicitando aos inquiridos que selecionassem todas as peças tinham vestidas. É possível consultar com detalhe esta pergunta no Anexo A. Contudo, mostra-se também relevante observar como varia este parâmetro em função do local de estudo. Da análise da Figura 60, constata-se que os funcionários da sala dos seguranças apresentam um conjunto de peças mais frescas ou uma menor quantidade de peças de roupa, dada que a resistência térmica média do vestuário é mais baixa relativamente à dos funcionários das cabines (0,79 clo na sala dos seguranças e 0,93 clo nas cabines). Verifica-se ainda que existe uma menor dispersão deste parâmetro na sala dos seguranças do que nas cabines, registando-se neste último espaço os valores mais altos e mais baixos obtidos para a resistência térmica do vestuário, 1,55 clo e 0,53 clo, respetivamente. Esta reduzida variação obtida na sala dos seguranças poderá estar relacionada com o facto da amostra neste local ser quase na totalidade do sexo masculino (98%), enquanto nas cabines a amostra divide-se de outra forma, sendo que 74% dos inquiridos são do sexo feminino e os restantes 26% do sexo masculino. Adicionalmente, o efeito da climatização na sala dos seguranças e a maior exposição ao clima exterior dos funcionários das cabines também poderá condicionar o vestuário dos utilizadores.

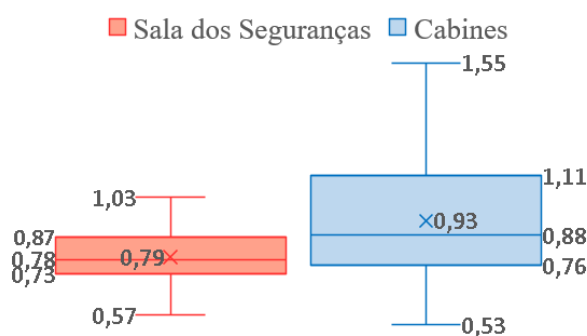


Figura 60 – Resistência térmica do vestuário (clo)

#### 5.1.2.4. Comportamento adaptativos

De forma a compreender a influência dos outros parâmetros de carácter subjetivo sobre a perceção térmica dos indivíduos, seleccionaram-se duas perguntas que permitiram avaliar as adaptações a que estes recorreram de forma a melhorar as condições de conforto térmico e evitar, deste modo, o desconforto. A primeira questão abordou a possível existência de uma adaptação física reativa, que de acordo com o subcapítulo §2.3.1.3, corresponde a comportamentos de carácter pessoal, sendo que neste caso, especificamente, questionou-se quanto à existência de alguma alteração no vestuário. A segunda questão diz respeito à adoção de adaptações físicas interativas, isto é, a atitudes aplicadas sobre o ambiente, nomeadamente abrir/fechar janelas e portas, ligar/desligar ou alterar a temperatura do sistema de climatização.

Quanto à primeira abordagem, Figura 61, pode concluir-se que tanto os funcionários da sala dos seguranças como os funcionários das cabines recorreram muito pouco à alteração do seu vestuário de forma a melhorar as condições de conforto térmico.

#### 8 - Alterou o seu vestuário no decorrer da última hora, com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico?

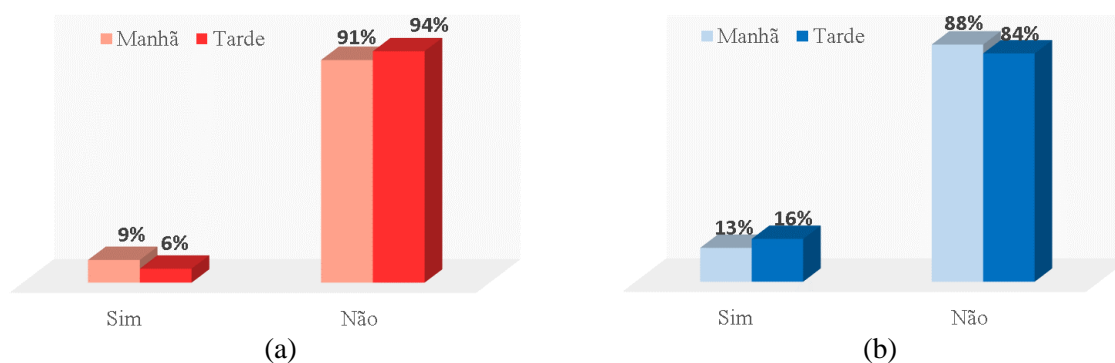


Figura 61 – Alteração do vestuário; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

Por sua vez, quanto às adaptações físicas interativas, denota-se uma maior percentagem de inquiridos que adotaram estes mesmos comportamentos. Da análise da Figura 62 – a constata-se que na sala dos seguranças, apesar de grande parte dos inquiridos não ter tomado qualquer medida, existe uma pequena percentagem que o fez no intuito de melhorar as suas condições, registando-se uma ligeira diferença no período da manhã. Apesar dessa reduzida diferença, pode-se afirmar que a preferência na aplicação destas medidas neste período está em conformidade com as sensações térmicas registadas por estes, uma vez que é no período da manhã que se verifica maior sensação de desconforto (sensações térmicas de calor neste caso).

Relativamente às cabines (Figura 62 – b), é possível observar uma percentagem significativa de inquiridos que recorreram à abertura de janelas. No entanto, é de salientar que este mesmo comportamento pode não corresponder ao objetivo de melhorar as condições de conforto, mas sim estar associado à obrigatoriedade em recorrer a este comportamento de forma a atender os motoristas que pretendiam dar entrada na estrutura portuária. Dado que este espaço não possui sistema de climatização, as duas opções relativas a este campo não eram preenchidas pelos funcionários das cabines, tendo apenas como possibilidade de melhorar as condições de conforto térmico a abertura ou fecho de portas. Dada a escassez nos comportamentos possíveis a adotar, grande parte dos inquiridos não tomou qualquer medida (56% no período da manhã e 84% no período da tarde).

9 - Durante a última hora, assinale se tomou alguma das seguintes medidas com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico.

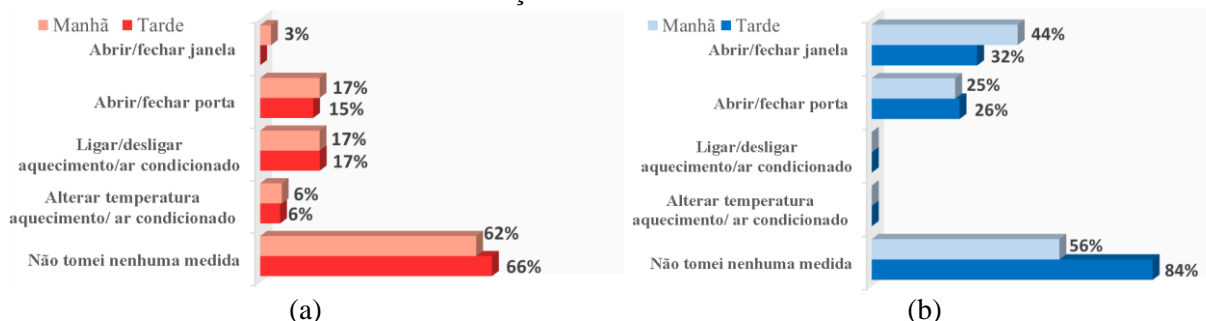


Figura 62 – Adaptações físicas interativas; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

#### 5.1.2.5. Parâmetros da Qualidade do Ambiente Interior

A análise dos fatores que influenciam a qualidade do ambiente interior foi realizada com o intuito de entender o contributo e a importância que estes possuem face ao conforto geral de um indivíduo e, de certa forma, entender o quanto os dois fatores em estudo neste trabalho (QAI e conforto térmico) são valorizados.

Da Figura 63 – a, relativamente à sala dos seguranças, o fator com maior importância diz respeito à componente térmica, sendo o ruído a componente imediatamente a seguir considerada como importante para a sensação de conforto. A QAI também é considerada por 23% dos inquiridos muito importante. A componente visual é considerada por 69% pouco importante.

Quanto às cabines, Figura 63 – b, a componente térmica é sem dúvida a que apresenta maior contributo para o conforto dos funcionários deste local (71%), podendo-se considerar o ruído como o segundo fator para o bem-estar dos ocupantes. A QAI apresenta uma maior percentagem para a opção significativamente importante (34%), sendo mais uma vez, o fator visual uma componente com pouca importância para o conforto geral dos indivíduos.

7 - Ordene por ordem de importância os fatores que considera mais relevantes para que se sinta confortável (em termos gerais) no local onde se encontra neste momento.

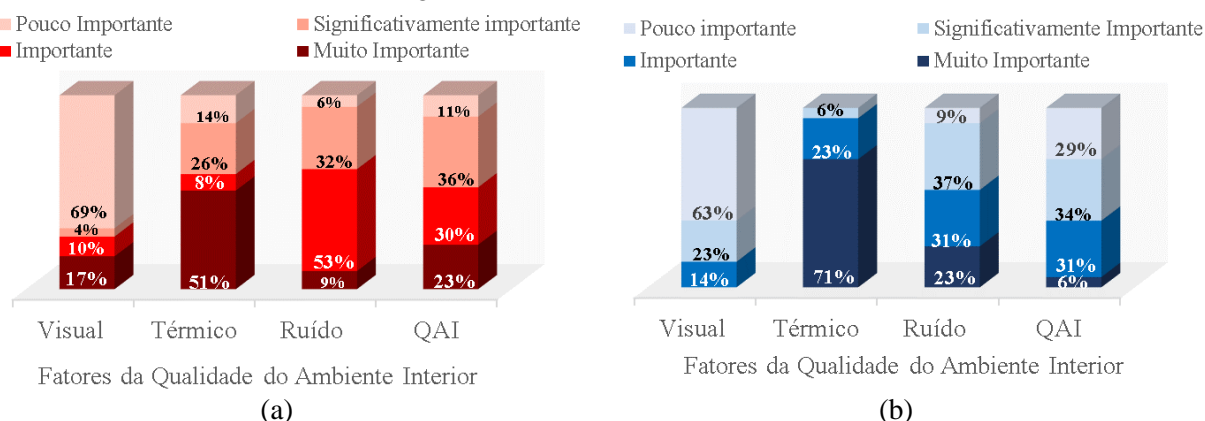


Figura 63 – Fatores da qualidade do ambiente interior

Desta análise depara-se que a componente térmica é, para ambos os locais, um dos fatores mais importantes para a qualidade do ambiente interior. Outro aspeto relevante é a importância dada ao ruído na sala dos seguranças comparativamente às cabines. Esta componente apresenta uma maior importância nas cabines, que de certa forma, é o local mais próximo das fontes de ruído e para além disso, a própria estrutura não constitui nenhuma barreira a esta poluição sonora. Os pesos atribuídos à QAI são interessantes, na medida em que, mesmo as cabines estando mais vulneráveis, a opinião dos utilizadores não traduz este resultado de forma clara.

### 5.1.3. MODELOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

#### 5.1.3.1. Modelo Analítico

Os índices PMV e PPD foram determinados a partir das medições realizadas pelo equipamento *Thermal Microclimate HD32.1* e dos parâmetros individuais. Na Figura 64 está representado o PMV médio de cada ensaio associado ao respetivo índice PPD. Para além disso, considerou-se relevante, em cada local, distinguir os resultados conforme as categorias definidas pela ISO 7730 [21], possibilitando a visualização do cumprimento ou não das condições de cada categoria.

Na sala dos seguranças, as sensações térmicas medidas estão entre a sensação de neutralidade ( $PMV=0$ ) e a sensação de ligeiramente frio ( $PMV=-1$ ), estando quase todos os ensaios dentro dos limites das três categorias (Categoria III com 92%). Para a condição térmica mais exigente, Categoria I, 36% dos ensaios encontram-se dentro dos limites impostos por esta última.

Nas cabines, já há uma maior variação do índice PMV, registando-se vários ensaios fora dos limites consideráveis como um ambiente térmico desejável, sendo que para a categoria menos exigente apenas 63% dos ensaios preencheram os requisitos. Da restante percentagem, 11% corresponderam a índices PMV superior a 0,7 e 26% para PMV associados a sensações frias. Relativamente ao índice PPD, dada a maior variação das sensações térmicas nas cabines, obteve-se um PPD máximo de 55% aproximadamente, enquanto na sala dos seguranças este valor foi apenas de 25%.

As diferenças de sensações obtidas nos dois espaços podem estar relacionadas com o facto da sala dos seguranças possuir um sistema de climatização, conduzindo assim a sensações predominantemente de frio.

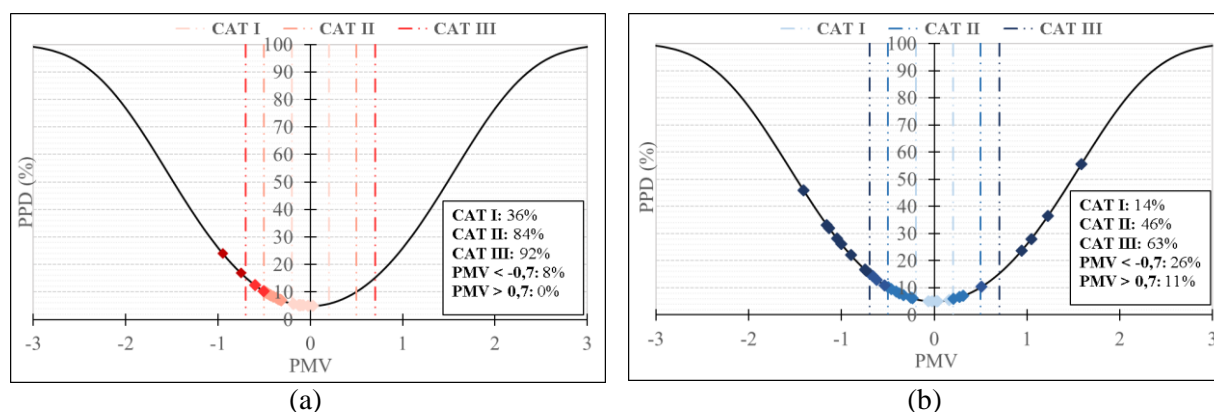
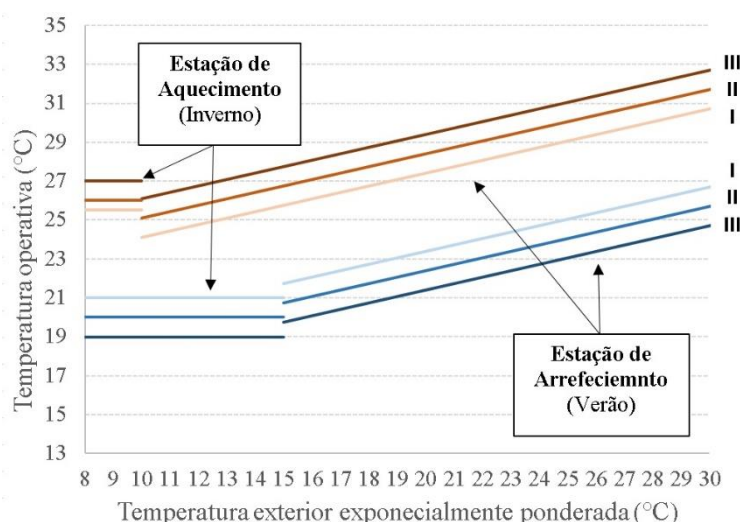


Figura 64 – Modelo analítico; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

### 5.1.3.2. Modelo adaptativo da EN 15251

A aplicação do modelo adaptativo da EN 15251 [24] permitiu verificar se os espaços em estudo se encontravam dentro dos limites aceitáveis do conforto térmico. Tal como evidenciado no subcapítulo §2.3.2.2, este modelo define as condições desejáveis para o ambiente térmico através da correlação da temperatura exterior exponencialmente ponderada e da temperatura operativa, tendo sido calculadas através das equações (5) e (4), respetivamente. Este modelo define os limites para a estação de arrefecimento, no entanto, dado o período em que decorreram as medições e as temperaturas analisadas, também se considerou importante definir os limites para a estação de aquecimento. Na Figura 65 estão representadas as distintas estações, estando indicados no Quadro 18 os limites para a estação de aquecimento, definidas por esta norma.



Quadro 18 – Limites para a estação de aquecimento, adaptado de [24]

	Temperatura operativa (°C)	
	Limite inferior	Limite superior
CAT I	21	25,5
CAT II	20	26
CAT III	19	27

Figura 65 – Modelo adaptativo da EN 15251, adaptado de [24]

Com todos os limites definidos, calcularam-se os parâmetros necessários, obtendo-se para os distintos locais de estudo as distribuições apresentadas na Figura 66, na qual estão representados os ensaios por dias e por período. No caso específico das cabines, dado que se realizavam 3 ensaios por dia, considerou-se representativo juntar os dois ensaios que faziam parte do mesmo período (manhã ou tarde) e representar esse resultado em conjunto.

Da Figura 66 é possível retirar várias conclusões, nomeadamente:

- A temperatura exterior exponencialmente ponderada difere bastante ao longo do período de medição, sendo o mínimo de 10 °C e o máximo de 19 °C aproximadamente;
- Quanto à sala dos seguranças, nos registos totais (Figura 66 – a1), deteta-se uma tendência para o não cumprimento das exigências de conforto, especialmente para os limites inferiores, isto é, para temperaturas operativas baixas. No entanto, nos registos médios (Figura 66 – b1), os ensaios apresentam quase na totalidade condições de conforto desejáveis, existindo ainda uma quantidade significativa de ensaios que está dentro dos limites de maior exigência (Categoria I);



- Relativamente às cabines, há uma quantidade elevada de ensaios que não cumprem com as exigências de conforto térmico, existindo mesmo ensaios que ultrapassam os limites superiores. Nos registos médios constata-se que as cabines em norma não apresentam um ambiente térmico confortável (Figura 66 – a2 e b2), estando 37 % dos ensaios fora dos limites de conforto.

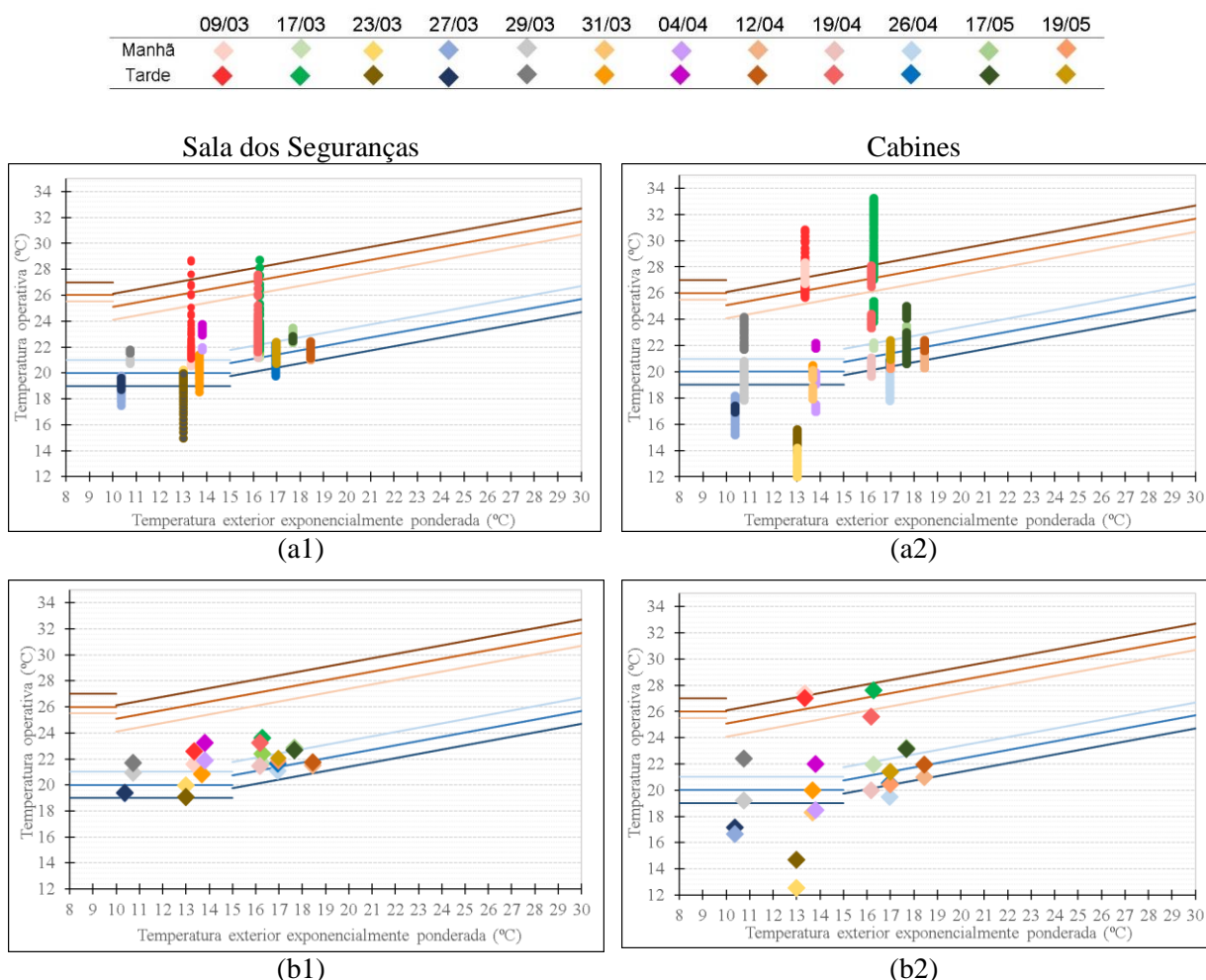


Figura 66 – Modelo adaptativo da EN 15251. Registos totais: (a1) SS; (a2) CA; Registos médios: (b1) SS; (b2) CA

Na Figura 67 estão representadas as percentagens de registos de cada ensaio na sala dos seguranças que se encontram fora dos limites de cada categoria. Tal como mencionado e constatado anteriormente, o não cumprimento das exigências deve-se essencialmente às temperaturas baixas registadas (% Frio). Para além disso, verifica-se que esse não cumprimento tem maior impacto nos ensaios da manhã.

De referir que estes resultados estão de acordo com o modelo analítico estudado, dado que a percentagem de insatisfeitos para este local devia-se essencialmente a índices PMV inferiores a 0 (sensações frias).

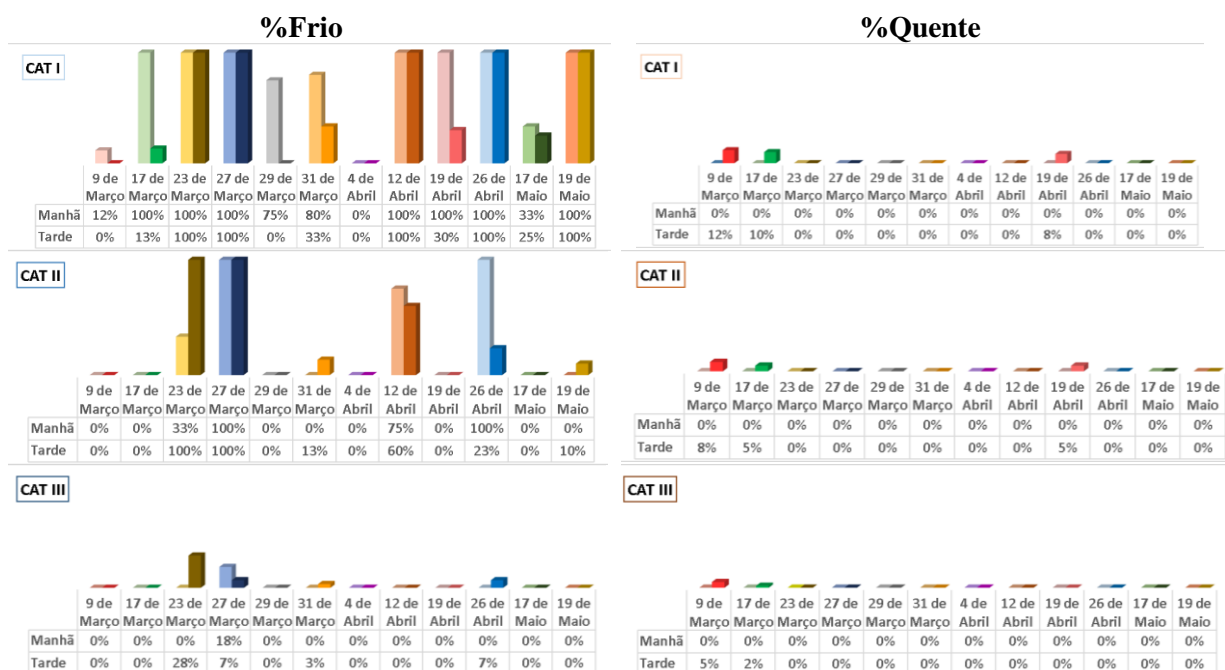


Figura 67 – Percentagem de medições fora dos limites das categorias para a sala dos seguranças

Analisando mais ao pormenor as cabines, Figura 68, verifica-se que os limites inferiores quase nunca são cumpridos, havendo uma ligeira tendência para se agravar no período da manhã. De indicar que os dias 9 e 17 de Março, apesar de cumprirem com quase todos os limites inferiores, não cumprem os limites superiores, isto é, apresentavam temperaturas mais altas que as consideradas confortáveis.

Os resultados deste modelo estão em conformidade com os resultados obtidos pelo modelo analítico, bem como pelas sensações térmicas registadas (sensações de calor e frio).

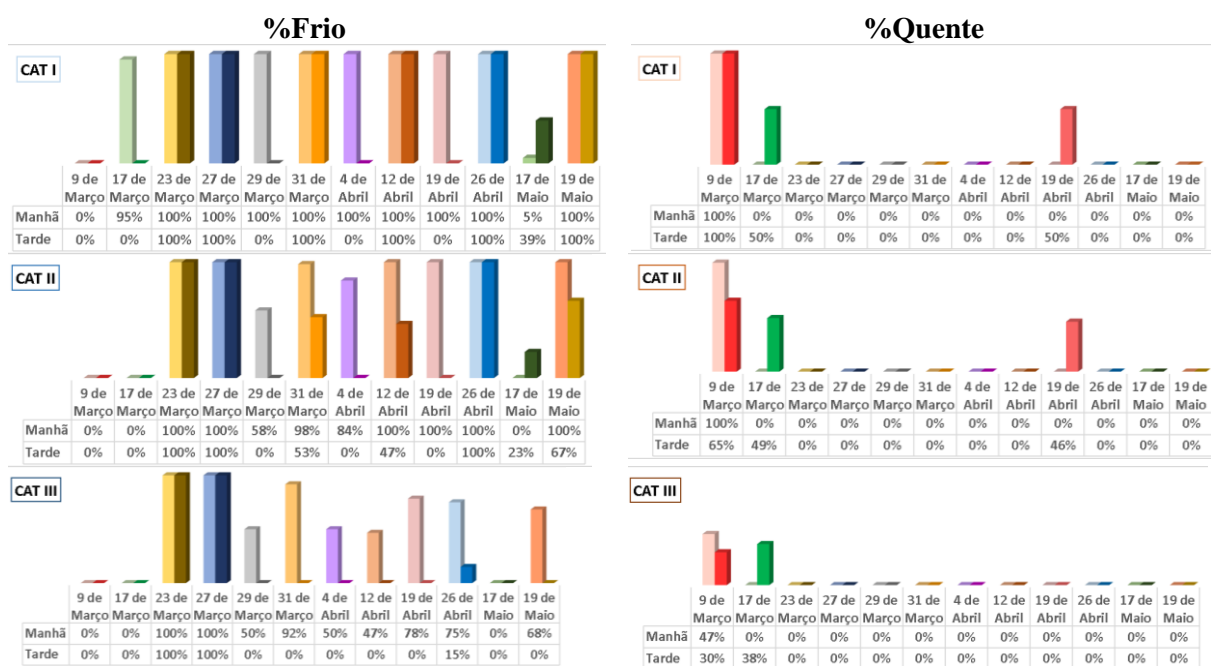


Figura 68 – Percentagem de medições fora dos limites das categorias para as cabines



### 5.1.3.3. Modelo adaptativo da ASHRAE 55

A aplicação do modelo adaptativo da ASHRAE 55 [17] distingue-se pela utilização da temperatura média mensal exterior para avaliar, conjuntamente com a temperatura operativa, as condições desejáveis para o ambiente térmico. Este modelo define limites de aceitabilidade de 80% e um mais restrito de 90%. De relembrar que este modelo só deve ser aplicado sob determinadas condições (subcapítulo §2.3.2.2). No entanto, tanto na sala dos seguranças como nas cabines, a resistência térmica do vestuário nem sempre esteve dentro dos limites de aplicabilidade e, para além disso, a sala dos seguranças possuía sistema de climatização. Contudo, considerou-se relevante aplicar o modelo mesmo assim, analisando-se os resultados com os devidos cuidados.

Na Figura 69 estão representados os resultados para ambos os locais. Desta observação gráfica é possível verificar que:

- Comparando com a temperatura exterior exponencialmente ponderada, a utilização da temperatura média mensal exterior reduz o impacto de dias mais quentes ou mais frios. A temperatura média mensal exterior variou apenas entre os 13 °C e os 17 °C, aproximadamente;
- Na sala dos seguranças, em termos médios (Figura 69 – b1), os ensaios encontram-se quase na totalidade dentro dos limites mais restritos de aceitabilidade (90%);
- Nas cabines existe uma quantidade significativa de ensaios que não cumpre os limites de aceitabilidade, registando-se ou temperaturas muito baixas ou muito altas.

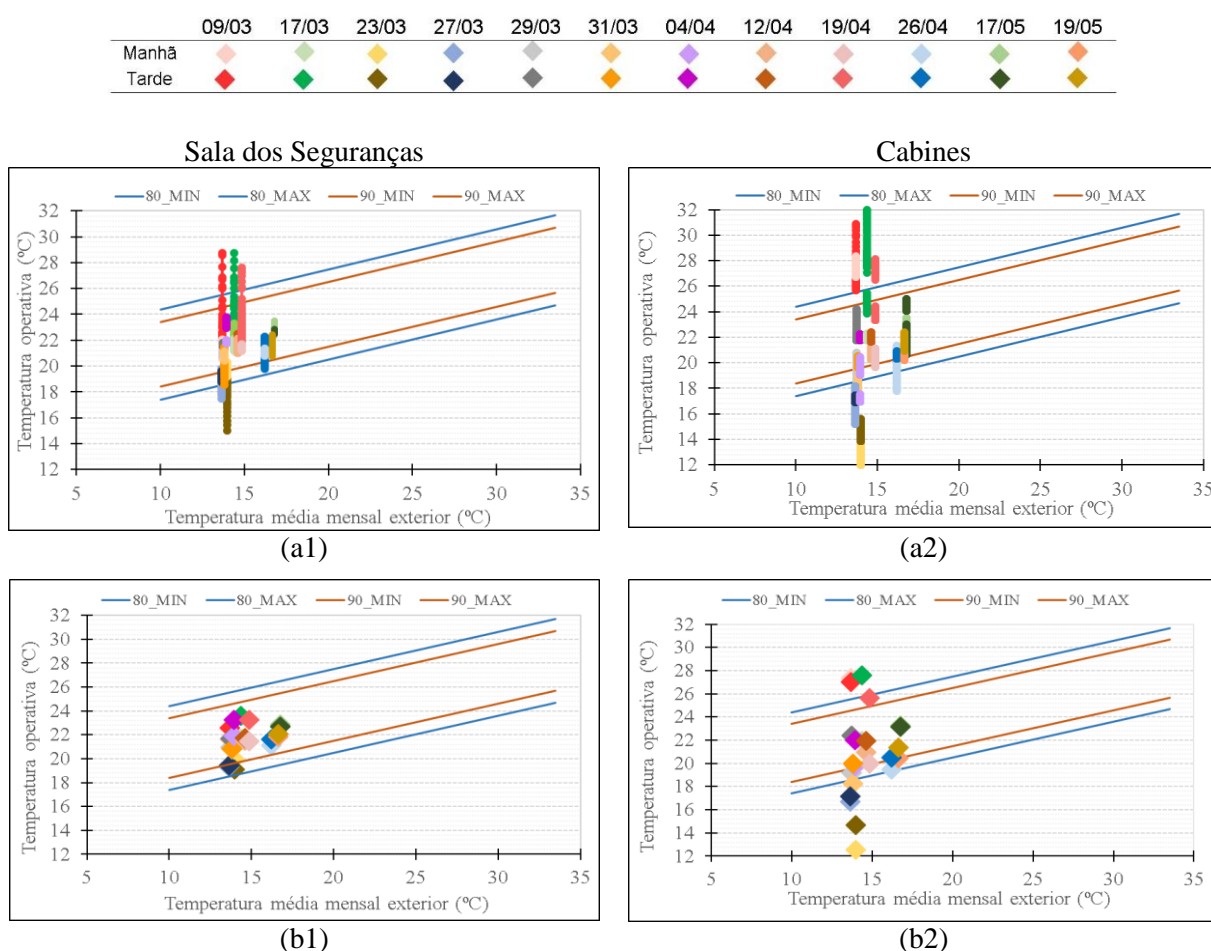


Figura 69 – Modelo adaptativo da ASHRAE 55. Registos totais: (a1) SS; (a2) CA; Registos médios: (b1) SS; (b2) CA

Na Figura 70 comprova-se que grande parte dos ensaios na sala dos seguranças cumpriram os limites mais restritos (90%). Para além disso, observa-se que nos quatro primeiros dias de ensaio, registaram-se, na parte da tarde, grande percentagem de medições fora dos limites. De referir que nos dois primeiros dias, o espaço apresentava temperaturas superiores às consideradas termicamente aceitáveis, contrariamente aos dois seguintes dias, no qual o não comprimento das condições sucedeu devido a temperaturas inferiores ao desejável.

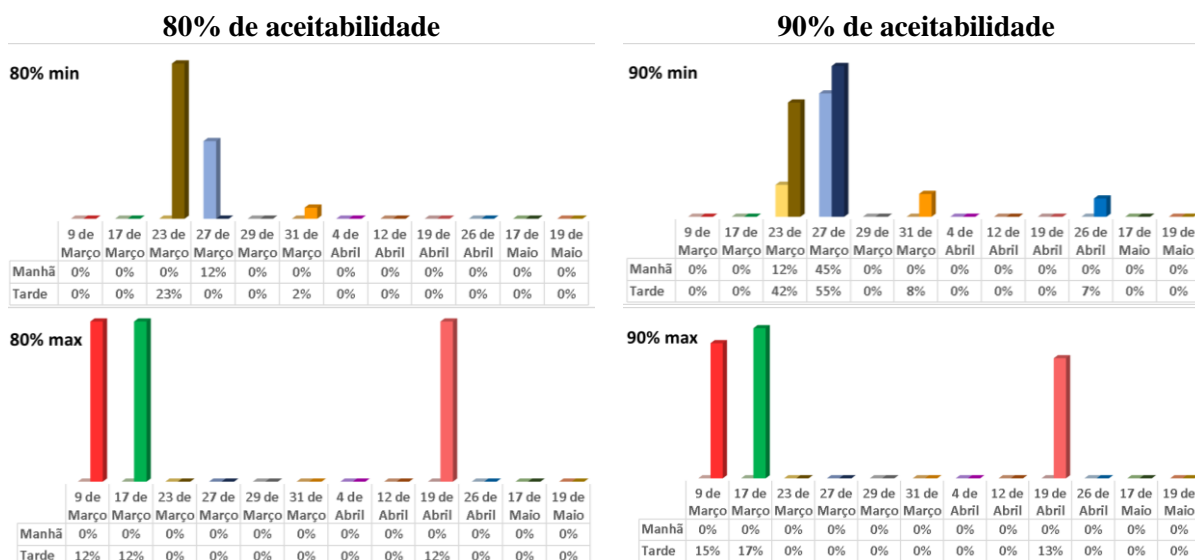


Figura 70 – Percentagem de medições fora dos limites de aceitabilidade para a sala dos seguranças

Relativamente às cabines, confirma-se a grande percentagem de medições registadas fora dos limites, verificando-se uma ligeira tendência para temperaturas muito baixas, no período da manhã e, por sua vez, temperaturas mais altas que o desejável no período da tarde (Figura 71).

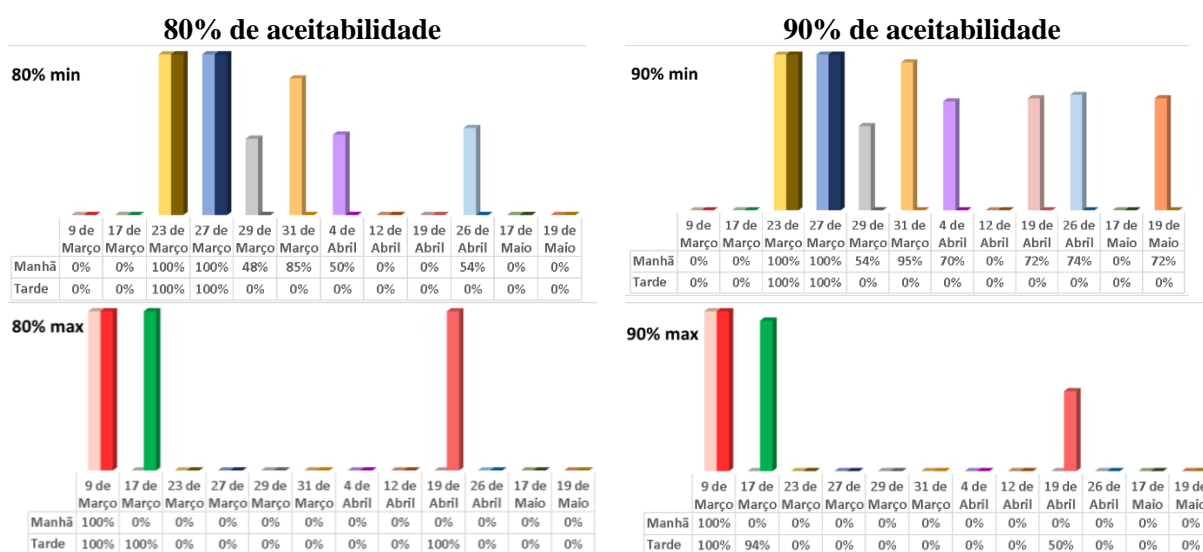


Figura 71 – Percentagem de medições fora dos limites de aceitabilidade para as cabines

#### 5.1.4. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO

A análise do desconforto térmico localizado foi realizada com base nas quatro vertentes definidas pela ISO 7730 [21], nomeadamente, nas diferenças de temperatura na vertical, na temperatura do pavimento, na assimetria radiante e no efeito das correntes de ar. Adicionalmente, teve-se em conta, nos diferentes tipos de desconforto, os limites propostos pela ISO 7730 [21] para as três categorias existentes.

Quanto ao desconforto devido às diferenças de temperatura na vertical ( $\Delta t_{a,v}$ ), calculou-se este parâmetro com base na diferença entre os valores registados ao nível da cabeça ( $t_h$ ) e ao nível dos tornozelos ( $t_k$ ). Com este parâmetro calculado, obteve-se a percentagem de insatisfeitos (PD) segundo a fórmula proposta pela ISO 7730 [21]. Na Figura 72 está representada a diferença de temperatura vertical média de cada ensaio e a respetiva percentagem de insatisfeitos (PD) associada. É possível constatar que, em ambos os locais, existe uma pequena percentagem de insatisfeitos (máximo 8% aproximadamente). Relativamente aos limites definidos pelas categorias, na sala dos seguranças todos os ensaios cumprem as exigências, estando 96% dos ensaios englobados na categoria mais exigente. Nas cabines, também se verifica que todos os ensaios realizados apresentam um ambiente térmico aceitável, no entanto, comparativamente com o local anterior, apenas 68% estão inseridos na categoria I.

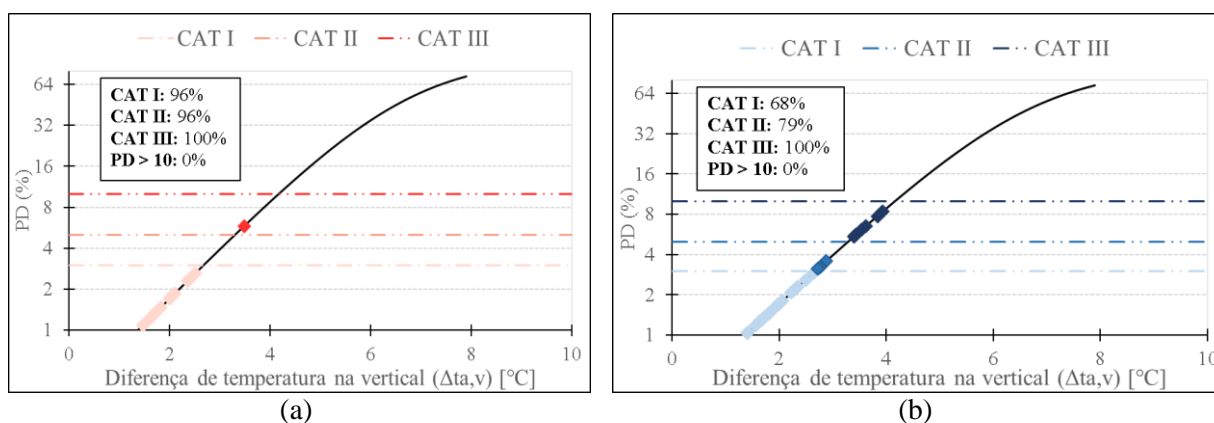


Figura 72 – Diferença de temperatura na vertical; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

Relativamente ao desconforto ao nível dos pés, este é analisado tendo em conta a temperatura do pavimento ( $t_f$ ), que é diretamente medida pelo equipamento do conforto térmico. Analogamente aos gráficos anteriores, estão representados na Figura 73, a temperatura média do pavimento por ensaio e os limites impostos pelas categorias. Por observação gráfica, verifica-se que a existência de algum desconforto ao nível dos pés deve-se essencialmente, tanto na sala dos seguranças como nas cabines, a pavimentos frios ( $t_f < 24$  °C). Por sua vez, nas cabines, obteve-se uma percentagem de insatisfeitos máxima de quase 32% para este parâmetro. Quanto às categorias, na sala dos seguranças verifica-se que todos os ensaios cumpriram com as exigências, contrariamente às cabines em que existe uma percentagem de 20% que não cumpre com os requisitos impostos.

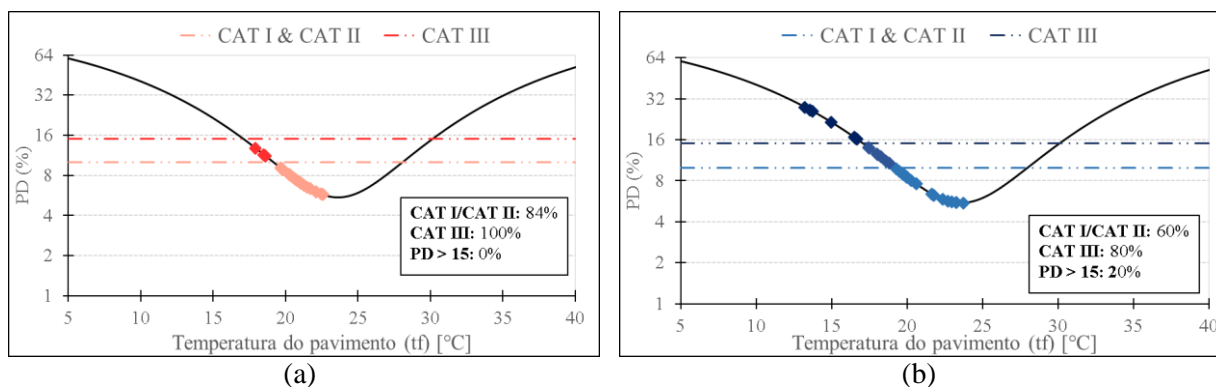


Figura 73 – Temperatura do pavimento; (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

O desconforto associado à assimetria de temperatura radiante foi analisado devido ao efeito de paredes frias ou quentes (sonda colocada na vertical). Os valores registados por esta sonda, forneciam diretamente os valores desta variável. Contudo, constatou-se que a percentagem de insatisfeitos obtida com a aplicação da fórmula definida pela ISO 7730 [21], conduziu a resultados muito baixos (PD sempre nula ou negativa). Assim sendo, não se considerou necessário representar gráficos com essas percentagens, podendo concluir-se que o desconforto localizado devido a este parâmetro não tem qualquer influência sobre os indivíduos.

Para a análise do desconforto devido ao efeito provocado pelas correntes de ar, aplicou-se a equação (6) de forma a obter a percentagem de insatisfeitos (DR), sendo este parâmetro função de três variáveis: a temperatura do ar ( $t_a$ ), a velocidade do ar ( $v_a$ ) e a turbulência ( $Tu$ ). Para a velocidade do ar foi necessário corrigir o valor, considerando um valor mínimo de 0,5 m/s, sempre que se registasse valores inferiores aplicando diretamente a temperatura do ar, resultado das medições do equipamento. Para a turbulência considerou-se o valor definido pela norma ISO 7730, ou seja 40%.

Considerou-se pertinente fazer uma análise deste parâmetro, observando a média de insatisfeitos de cada ensaio ( $DR_m$ ) e o máximo registado em cada ensaio ( $DR_{máx}$ ). Para além disso, observou-se também o seu comportamento quanto aos limites sugeridos pelas três categorias. Da Figura 74 observa-se que os valores médios registados são muito reduzidos, tanto para a sala dos seguranças como para as cabines, sendo que neste último local é onde se regista uma maior percentagem de ensaios que cumprem as exigências mais restritas, isto é, 97% dos ensaios tiveram  $DR_m$  inferiores a 10%. Quanto aos valores máximos registados, já há uma maior variação deste parâmetro, existindo em ambos os locais valores de percentagem de insatisfeitos fora dos limites propostos pelas categorias, isto é, o desconforto devido às correntes de ar é bastante sentido pelos indivíduos.

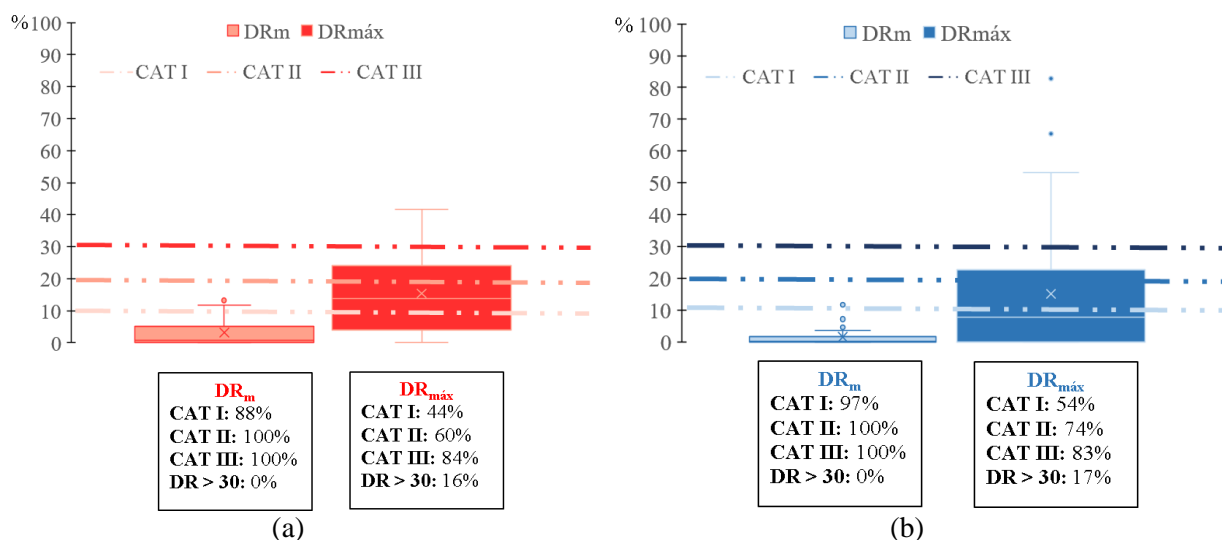


Figura 74 – Distribuição da DR média e máxima (a) Sala dos seguranças; (b) Cabines

## 5.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a análise dos valores obtidos, o presente subcapítulo foca-se na procura de correlações entre alguns parâmetros com o intuito de verificar e comprovar certas relações existentes e obter novas conclusões.

Da perceção térmica avaliada através dos inquéritos é possível denotar a forte relação entre a sensação térmica sentida pelos funcionários e a preferência térmica. Para melhor observação, representou-se essa relação na Figura 75, correspondendo o eixo das abcissas à sensação térmica média de cada ensaio e o eixo das ordenadas à respetiva preferência térmica média. Uma situação ideal corresponderia à reta representada a preto no gráfico ( $st = -pt$ ), no qual para sensações térmicas associadas ao calor ( $st = 1, 2, 3$ ) a preferência seria para temperaturas frias ( $pt = -1, -2, -3$ ), correspondendo ao 4º Quadrante do gráfico. O contrário, isto é, sensações térmicas frias ( $st = -1, -2, -3$ ) estariam associadas a preferências em estar mais quente ( $pt = 1, 2, 3$ ). A sensação térmica de neutralidade ( $st = 0$ ) estaria de igual forma relacionada com a preferência em estar termicamente igual ( $pt = 0$ ).

Quanto aos resultados obtidos nos inquéritos é possível averiguar que globalmente na sala dos seguranças as sensações predominantes corresponderam a sensações quentes, estando estas tendencialmente relacionadas com preferências térmicas frias, obtendo um coeficiente de determinação bastante satisfatório ( $R^2 = 0,57$ ). Relativamente aos ensaios realizados nas cabines, como se constatou anteriormente na análise dos resultados, as sensações térmicas sentidas variaram entre frio e calor. Estas sensações estão frequentemente associadas à preferência térmica inversa, estando distribuídos os ensaios pelo 2º e 4º Quadrante. A linha de tendência que define os ensaios neste último local apresenta um coeficiente de determinação de 0,56.

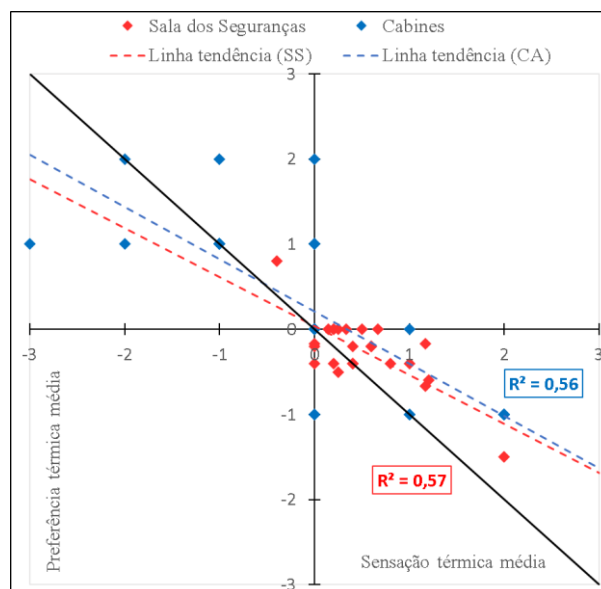


Figura 75 – Relação entre a sensação térmica média e a preferência térmica média

Por outro lado, considerou-se relevante analisar a possível relação entre as sensações térmicas médias e a temperatura operativa registada nos ensaios. Este último parâmetro tenta traduzir a temperatura que é realmente sentida pelos indivíduos, tendo em conta fatores como a velocidade do ar, a temperatura do ar e a temperatura média radiante.

Na Figura 76 verifica-se que para as cabines existe uma relação entre estas duas variáveis, sendo que à medida que a temperatura operativa aumenta regista-se uma tendência para sensações térmicas mais altas, aplicando-se também o inverso, isto é, sensações térmicas frias associadas a temperaturas operativas mais baixas. Na sala dos seguranças, as sensações térmicas médias registadas apresentam pouca dispersão, sucedendo o mesmo para as temperaturas operativas médias registadas nos ensaios, traduzindo-se numa relação com um coeficiente de determinação baixo ( $R^2=0,14$ ). Contudo, mesmo assim, verifica-se uma ligeira tendência no aumento simultâneo dos dois parâmetros.

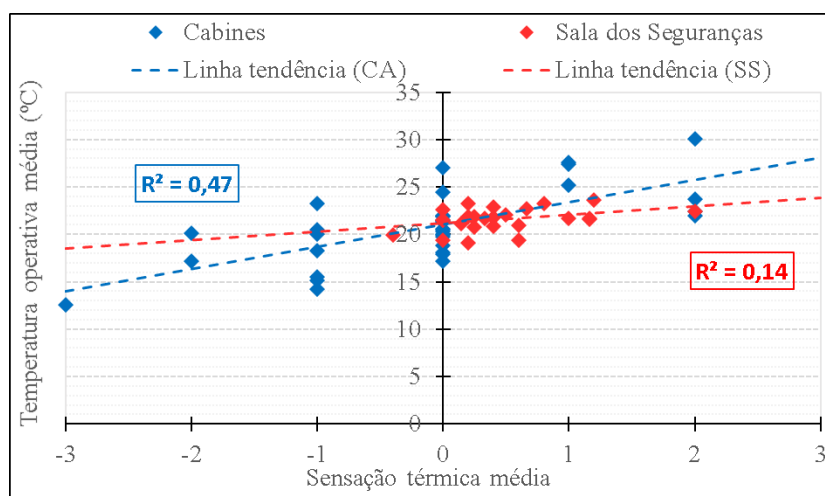


Figura 76 – Relação entre a sensação térmica média e a temperatura operativa média

Um outro objetivo deste trabalho foi perceber se o modelo analítico proposto pela ISO 7730 [21] se ajustava às percepções térmicas registadas nos inquéritos. Com esse intuito, recorreu-se ao PMV médio de cada ensaio, correlacionando com a respetiva sensação térmica média avaliada através dos inquéritos. Na Figura 77 está representada a situação ideal, isto é, a situação na qual o modelo retrata na perfeição o ambiente térmico sentido pelos funcionários ( $PMV=STm$ ). Nos locais em estudo, ambos apresentam coeficientes de determinação baixos, no entanto a função linear que define os ensaios das cabines encontra-se muito próxima da situação ideal. Na sala dos seguranças há uma tendência para o índice PMV obtido pelo modelo ser inferior à sensação térmica média registada, isto é, índices PMV inferiores a 0 (sensações frias) associados a sensações térmicas de calor ( $STm>0$ ), correspondendo ao conjunto de pontos situados no 2º Quadrante. Desta forma pode-se afirmar que o modelo analítico não consegue prever com realidade as sensações dos indivíduos neste local, podendo ser o sistema de climatização presente o fator para este acontecimento.

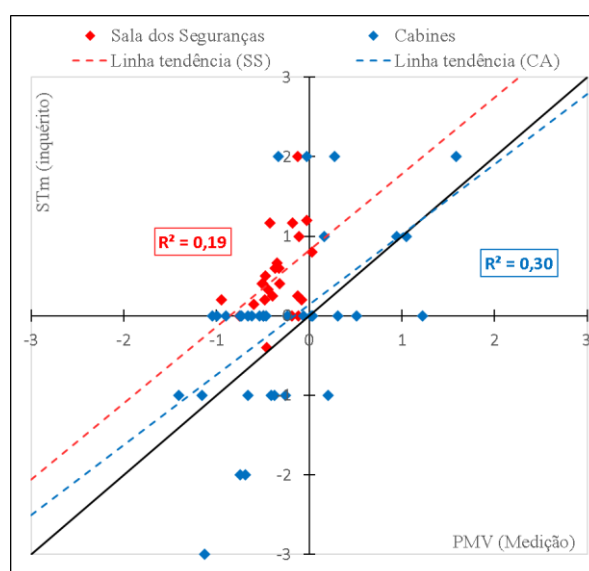


Figura 77 – Relação entre o PMV médio e a sensação térmica média

Uma outra comparação foi realizada com o propósito de analisar a relação entre um dos parâmetros individuais do conforto térmico, nomeadamente a resistência térmica do vestuário ( $I_{cl}$ ) e a temperatura operativa. Como foi constatado no ponto §5.1.2.3, as resistências térmicas do vestuário nas cabines apresentavam uma maior dispersão relativamente às registadas na sala dos seguranças. Na Figura 78 verifica-se essa dispersão de valores quanto a essa variável, sendo que curiosamente nas cabines verifica-se também uma maior variação dos valores da temperatura operativa, estando compreendidos entre os 12°C e os 28°C, enquanto na sala dos seguranças os valores variam apenas entre os 19°C e os 24°C. Para além disso, verifica-se que há um ajuste aceitável quanto à escolha de roupa, isto é, os indivíduos têm uma boa percepção da temperatura a que vão estar sujeitos, denotando-se que quando a temperatura operativa é mais baixa, há um aumento das resistências térmicas.



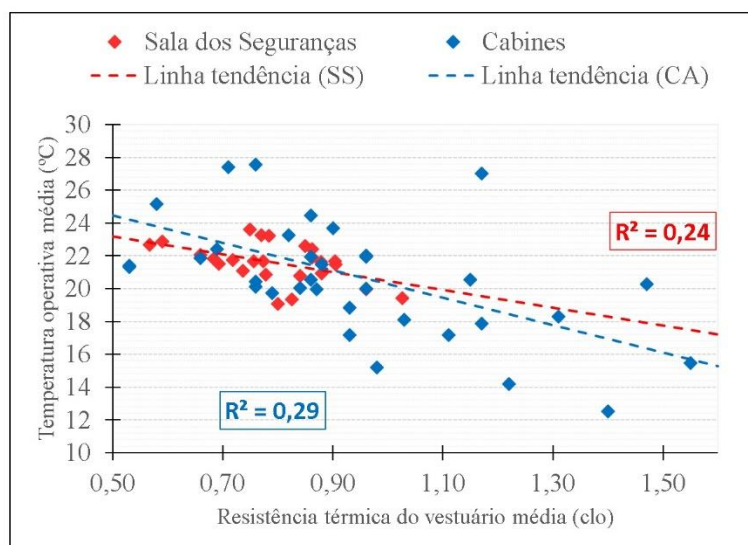


Figura 78 – Relação entre a resistência térmica do vestuário e a temperatura operativa

Quanto ao desconforto localizado, procurou-se relacionar os registos dos inquéritos referentes a esta questão com os tipos de desconforto definidos pela ISO 7730 [21] que também foram análise deste trabalho. A única relação possível de analisar diz respeito ao desconforto sentido nos pés. Na Figura 79 – a observa-se que há um maior registo de indivíduos desconfortáveis ao nível dos pés nas cabines do que na sala dos seguranças. Observando agora o modelo de desconforto devido à temperatura do pavimento (Figura 73), também se verifica um registo superior de insatisfeitos nas cabines comparativamente com a sala dos seguranças. Na Figura 79 – b está representado por um *boxplot* os valores de percentagem de insatisfeitos (PD) para os dois locais, comprovando o que foi referido anteriormente.

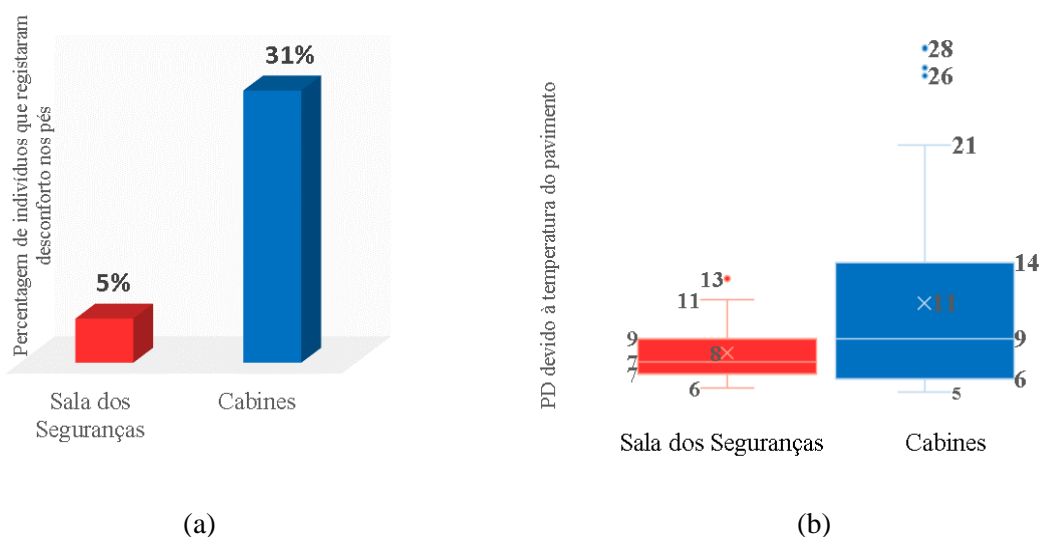


Figura 79 – (a) Registos de desconforto a nível dos pés nos dois locais em estudo; (b) Representação da PD obtida a partir do modelo de desconforto devido à temperatura do pavimento



### 5.3. SÍNTESE CRÍTICA

Da análise e discussão dos resultados é relevante destacar algumas das conclusões obtidas para os diferentes locais de estudo, particularmente:

- As distintas sensações obtidas nos dois locais. Na sala dos seguranças registaram-se quase exclusivamente sensações de calor, sendo que nas cabines, também se verificaram para além destas, sensações de frio. Estes resultados, como analisados anteriormente, estão de acordo com a variação da temperatura operativa registada, isto é, constatou-se uma maior variação deste parâmetro nas cabines de portagem comparativamente com a sala dos seguranças. Para além disso, este último espaço constitui um espaço climatizado, o que propicia a menor variações de temperatura;
- A aplicação do modelo analítico da ISO 7730 [21] para prever as sensações térmicas dos indivíduos apresentou melhores resultados para as cabines ( $R^2=0,30$ ), enquanto na sala dos seguranças não constituiu uma boa previsão da realidade, dado que as sensações obtidas pelo índice PMV foram de sensações frias, contrariamente à sensação registada nos inquéritos, tendo sido obtido um coeficiente de determinação muito reduzido ( $R^2=0,19$ );
- Da análise da avaliação e tolerância térmica dos espaços, conclui-se que a sala dos seguranças apresenta um espaço muito mais confortável e tolerável;
- Quanto à aplicação do modelo adaptativo da EN 15251 [24] as conclusões que se podem tecer é a satisfatória caracterização das condições do espaço. Na sala dos seguranças, em média, todos os ensaios encontravam-se dentro dos limites aceitáveis, estando em conformidade com a avaliação e tolerância do espaço. Contudo, os ensaios registados fora dos limites propostos pelas categorias indicavam que a temperatura operativa era mais baixa que o recomendável, não estando de acordo com as sensações registadas (calor), mas por sua vez, de acordo com os resultados obtidos pelo modelo analítico da ISO 7730 [21]. Nas cabines o modelo adaptativo da EN 15251 [24] demonstrou-se bastante realista uma vez que representou bem as condições do ambiente térmico descrito pelos funcionários das cabines;
- O modelo adaptativo da ASHRAE 55 [17] em termos globais apresenta resultados similares aos obtidos pelo outro modelo adaptativo;
- Os fenómenos de desconforto localizado apresentaram uma maior frequência nos funcionários das cabines. Dos modelos de avaliação do desconforto térmico localizado definidos pela ISO 7730 [21], verificou-se que existia uma maior percentagem de insatisfeitos devido à temperatura do pavimento para as cabines, estando em conformidade com a maior percentagem de indivíduos registados com desconforto ao nível dos pés neste local.



# 6

## CONCLUSÕES

### 6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

A qualidade do ambiente interior possui um elevado peso no bem-estar dos ocupantes de um espaço. Este trabalho focou-se na avaliação da qualidade do ar e do conforto térmico no edifício da Portaria Principal do Porto de Leixões. As campanhas experimentais decorreram em dois espaços distintos, designadamente nas cabines e na sala dos seguranças.

Quanto à avaliação da qualidade do ar, foi possível retirar as seguintes conclusões:

- Os níveis de poluição exterior são uma realidade da Portaria, essencialmente devido aos poluentes provenientes dos veículos. Os valores registados encontram-se sempre dentro dos limites regulamentares. No entanto os resultados dos inquéritos na Portaria mostraram uma grande insatisfação por parte dos funcionários relativamente à qualidade do ar exterior;
- Os funcionários da sala dos seguranças consideraram na sua grande maioria a qualidade do ar interior aceitável (86%), sendo que os registos das concentrações dos poluentes interiores obtidos foram sempre inferiores aos limites, correspondendo normalmente a valores reduzidos;
- A realidade da qualidade do ar nas cabines é ligeiramente diferente. Neste local, a proximidade e o constante contacto com o ambiente exterior e com as fontes de poluição, conduz a uma elevada insatisfação dos funcionários. Os resultados dos inquéritos mostraram que 40% considera a QAI má e 17% muito má. As concentrações dos poluentes interiores registados neste local são, em norma, superiores aos registados na sala dos seguranças, cumprindo ainda assim, os limites definidos para a proteção da saúde humana (excetuando o caso do dióxido de azoto);
- O dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ) é o poluente mais preocupante neste local. A elevada concentração de veículos nesta zona conduz à enorme produção deste poluente, afetando gravemente o ar exterior e, conseqüentemente, o ar interior, tendo sido atingidas, por duas vezes, concentrações superiores ao limite regulamentar. Para além dos efeitos prejudiciais na saúde humana, este poluente causa a sensação de odores ligeiros a fortes no interior dos espaços;
- As medições dos ensaios de ventilação realizadas nas cabines revelaram taxas de ventilação elevadas mesmo em condições de janela fechada. A ventilação natural é o único meio que as cabines possuem para remover os contaminantes interiores, no entanto, dada a enorme quantidade de poluentes no exterior conduz, provavelmente, ao agravamento da qualidade do ar interior.

Os ensaios para avaliação do conforto térmico permitiram obter as seguintes conclusões principais:

- As percepções térmicas dos funcionários indicaram que a sala dos seguranças constitui um espaço sensivelmente mais agradável, apresentando geralmente sensações térmicas de neutralidade ( $st=0$ ) e preferências em estar termicamente igual ( $pt=0$ );
- A variação da temperatura operativa é bastante superior nas cabines, atingindo valores entre os 12 °C e os 28 °C, enquanto na sala dos seguranças, registaram-se valores apenas entre os 18 °C e os 24 °C. A elevada amplitude da temperatura operativa registada nas cabines está de acordo com as percepções térmicas analisadas, tendo-se verificado tanto sensações térmicas frias como quentes, conduzindo a uma insatisfação com o espaço (pouco confortável e pouco tolerável);
- Dos modelos de avaliação de conforto térmico (analítico e adaptativos) pode-se afirmar que globalmente estes constituíram modelos razoáveis para avaliação das sensações térmicas dos ocupantes do espaço e previram de forma satisfatória as condições térmicas ambientais desejáveis;
- Os modelos de avaliação do desconforto térmico localizado indicaram maior desconforto para as cabines, estando em conformidade com o que os funcionários relataram nos inquéritos, verificando-se por sua vez neste mesmo local, maior adoção de comportamentos com o intuito de melhorar as condições de conforto.

De facto, os dois locais em estudo constituem espaços bastante diferentes, conduzindo a resultados bastante díspares na avaliação da qualidade do ambiente interior. De um modo geral, conclui-se que a sala dos seguranças integra um espaço termicamente mais estável e apresenta uma melhor QAI, relativamente às cabines.

## **6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Tendo em conta a vasta área de investigação que este domínio da qualidade do ambiente interior possui, é possível sugerir alguns desenvolvimentos futuros, de modo a aprofundar este estudo e os resultados obtidos, nomeadamente:

- Alargar o período da campanha de monitorização dos poluentes, de forma a englobar outros períodos do ano, permitindo assim uma análise crítica, dos possíveis efeitos da temperatura e da humidade relativa sobre a produção dos poluentes;
- Colocar uma estação meteorológica na Portaria Principal do Porto de Leixões, fornecendo assim os valores climáticos reais, permitindo uma correta correlação com outros parâmetros;
- Realizar os ensaios de avaliação da ventilação na sala dos seguranças, para comparar com as concentrações dos poluentes e as percepções da QAI;
- Alargar igualmente o período de ensaios de avaliação do conforto térmico, possibilitando a comparação noutros períodos do ano;
- Prever os impactos nos consumos energéticos destes espaços;
- Analisar mais ao pormenor a estrutura dos compartimentos e propor medidas para melhorar a qualidade do ambiente interior.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE 62.1, 2013.
- [2] C. Molina, C. A. C. Pickering, O. Valbjorn and M. Bortoli, “Sick Building Syndrome: A Practical Guide”, European Concerted Action, Indoor Air Quality & Its Impact on Man, Cost Project 613, Luxembourg, Report No.4, 1989.
- [3] Y. Al horr, M. Arif, M. Katafygiotou, A. Mazroei, A. Kaushik and E. Elsarrag, “Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Well-being and Comfort: A Review of the Literature”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol.5, pp. 1-11, Março de 2016.
- [4] *Metodologia de Avaliação da Qualidade do Ar no Interior de Edifícios de Comércio e Serviços no Âmbito da Portaria 353-A/2013*, APA - Agência Portuguesa do Ambiente, Direção-Geral da Saúde, Fevereiro 2015.
- [5] *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, Requisitos de Ventilação e Qualidade do ar Interior (RECS)*, Portaria n.º 353 – A/2013, 2013.
- [6] K. Hess-kosa, “Volatile Organic Compounds”, in *Indoor Air Quality: The Latest Sampling and Analytical Methods*, CRC Press, 2011, pp. 135-162.
- [7] *Measuring of radioactivity in the environment – Air: radon-222- Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods*, ISO 11665, 2012.
- [8] *Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*, EN 13779, 2007.
- [9] Decreto-Lei n.º 102/2010, 23 de Setembro.
- [10] M. Nóbrega, “Efeito do Ar Exterior na Qualidade do Ar Interior em Edifícios com Ventilação Natural”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Equipamentos e Sistemas Mecânicos, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2012.
- [11] B. R. Gurjar, L. T. Molina and C. S. P. Ojha, “Air Pollution: Health and Environmental Concerns”, CRC Press, 2010, pp. 1-15.
- [12] EUROSTAT Statistics Explained. (2017, Fev. 27) *Air Pollution statistics* [Online]. Disponível em: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Air\\_pollution\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Air_pollution_statistics). Fevereiro
- [13] A. Steinemann, P. Wargocki and B. Rismanchi, “Ten Questions Concerning Green Buildings and Indoor Air Quality”, *Building and Environment*, vol. 112, pp. 351-358, Novembro de 2016.
- [14] P. Wargocki, “Sensory Pollution Sources in Buildings”, *Indoor Air*, vol. 14, pp. 82-91, Fevereiro de 2004.
- [15] *Indoor Air – Part 8: Determination of Local Mean Ages of air in Buildings for Characterizing Ventilation Conditions*, ISO 16000-8, 2007.
- [16] *Thermal Performance of Buildings and Materials – Determination of Specific Airflow Rate in Buildings – Tracer gas Dilution method*, ISO 12569, 2012.
- [17] *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE 55, 2013.

- [18] H. B. Awbi, *Ventilation of Buildings (second edition)*, London and New York: Spon Press, 2003. [Online]. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/177280242/Ventilation-of-Buildings-Hazim-B-Awbi>
- [19] *Ergonomics of the Thermal Environment – Instruments for Measuring Physical Quantities*, ISO 7726, 1998.
- [20] K. C. Parsons, *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance (Second Edition)*. London and New York: Taylor & Francis, 2006.
- [21] *Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of the Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*, ISO 7730, 2005.
- [22] *Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of Metabolic Rate*, ISO 8996, 2004.
- [23] M. Nikolopoulou and K. Steemers, “Thermal Comfort and Psychological Adaptation as a Guide for Designing Urban Spaces”, *Energy and Buildings*, vol. 35, pp. 95-101, 2003.
- [24] *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings – addressing indoor air quality, thermal environment lighting and acoustics*, CEN – EN 15251, 2006.
- [25] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abril). *Porto de Leixões: A História* [Online]. Disponível em: <http://www.apdl.pt/historia>
- [26] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abril). *Porto de Leixões: ISPS* [Online]. Disponível em: [http://www.apdl.pt/pt\\_PT/isps](http://www.apdl.pt/pt_PT/isps)
- [27] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abril). *Porto de Leixões: Concessões e licenças* [Online]. Disponível em: <http://www.apdl.pt/pt/concessoes-e-licencas>
- [28] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abril). *Porto de Leixões: Apresentação* [Online]. Disponível em: <http://www.apdl.pt/documents/10180/52365/Apresenta%C3%A7%C3%A3o+Porto+de+Leix%C3%B5es+Luanda/ae30e61e-3ee4-45f1-9e77-6862d3acb7d9>
- [29] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abril). *Porto de Leixões: Mapa do Porto* [Online]. Disponível em: [http://www.apdl.pt/pt\\_PT/mapa-do-porto](http://www.apdl.pt/pt_PT/mapa-do-porto)
- [30] Elevo. (2017, Abril). *Portaria Principal do Porto de Leixões* [Online]. Disponível em: <http://www.elevogroup.com/pt/portfolio/portaria-principal-do-porto-de-leixoes-2/>
- [31] *Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution*, ASTM E 741, 2000.
- [32] Delta OHM, *Thermal Microclimate HD32.1 Manual*, 2009.
- [33] *Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*, ISO 10551, 1995.

## **ANEXOS**





**ANEXO A - INQUÉRITO**



Mestrado Integrado Em Engenharia Civil  
Especialização em Construções

**Inquérito para a Avaliação da Qualidade do  
Ambiente Interior**

<b><u>Localização:</u></b>	Cabine	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	5
	Sala dos Seguranças	<input type="checkbox"/>							
<b>Data:</b>	___/___/___								
<b>Hora:</b>	__:__h								

2016/2017

**Inquérito para a Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior**

**Dados pessoais:**

Idade: \_\_\_\_\_ Peso (aprox.): \_\_\_\_\_ kg

Sexo: ☐ F ☐ M  
 Altura (aprox.): \_\_\_\_\_ m

Quantas vezes por semana pratica exercício físico?

☐ 1 a 3 vezes ☐ Mais que 3 vezes ☐ Nunca

Como se sente em termos de saúde hoje?

☐ Melhor que o normal ☐ Normal ☐ Pior que o normal

**1. Como se sente neste momento?**

☐ Muito quente ☐ Quente ☐ Ligeira mente Quente ☐ Nem quente nem frio ☐ Ligeira mente frio ☐ Frio ☐ Muito frio

**2. Neste momento, como classifica o ambiente interior?**

☐ Confortável ☐ Ligeiramente desconfortável ☐ Desconfortável ☐ Muito desconfortável ☐ Extremamente desconfortável

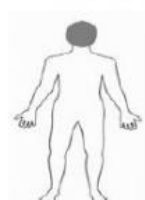
**3. Na sua opinião, o ambiente a nível térmico é?**

☐ Tolerável ☐ Pouco tolerável ☐ Muito pouco tolerável ☐ Intolerável

**4. Neste momento, como gostaria de estar?**

☐ Muito mais quente ☐ Mais quente ☐ Ligeira mente mais quente ☐ Igual ☐ Ligeira mente mais frio ☐ Mais frio ☐ Muito mais frio

**5. Caso não esteja confortável, indique as zonas onde sente desconforto:**  
 (assinale uma ou mais)



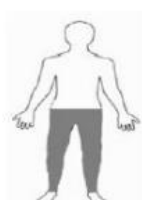
(cabeça)

☐

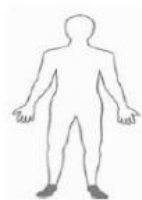

(peito/costas/  
braços)

☐


(mãos)

☐


(pernas)

☐


(pés)

☐


(corpo inteiro)

☐



Mestrado Integrado Em Engenharia Civil – Especialização em Construções

### Inquérito para a Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior

**6. Indique todas as peças de roupa que está a usar.**

Camisa/blusa:

- ☐ T-shirt (0,08)
- ☐ Camisa de verão, manga curta (0,19)
- ☐ Camisa de verão, manga comprida (0,20)
- ☐ Blusa de verão, manga comprida (0,15)
- ☐ Camisa de inverno (0,25)
- ☐ Camisa de flanela, manga comprida (0,30)

Camisola/Pulôver:

- ☐ sem mangas (0,12)
- ☐ manga comprida de verão (0,20)
- ☐ manga comprida de meia-estação (0,25)
- ☐ manga comprida de inverno (0,36)

Casaco:

- ☐ de verão (0,25)
- ☐ de inverno (0,35)

Calças

- ☐ Calções (0,06)
- ☐ de verão (0,20)
- ☐ de meia-estação/(ganga) (0,25)
- ☐ de inverno/(flanela) (0,28)

Vestido/Saia:

- ☐ saia curta, de verão (0,15)
- ☐ saia comprida, de inverno (0,25)
- ☐ vestido, manga curta (de verão) (0,20)
- ☐ vestido, manga comprida (de inverno) (0,40)

Meias:

- ☐ finas (0,02)
- ☐ grossas, pelo tornozelo (0,05)
- ☐ grossas, pelo joelho (0,10)
- ☐ de nylon (0,03)
- ☐ collants (0,10)

Calçado:

- ☐ sola fina, ténis/sapato (0,02)
- ☐ sola grossa, ténis desportivo (0,04)
- ☐ botas (0,10)
- ☐ sandálias (0,02)

Acessórios:

- ☐ cachecol/lenço (0,05)
- ☐ luvas (0,05)
- ☐ chapéu/boné

**7. Ordene por ordem de importância os fatores que considera mais relevantes para que se sinta CONFORTÁVEL (em termos gerais) no local onde se encontra neste momento:**

(1 – mais importante; 4 – menos importante)

\_\_\_ Visual      \_\_\_ Térmico      \_\_\_ Ruído      \_\_\_ Qualidade do ar interior

**8. Alterou o seu vestuário no decorrer da última hora, com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico?**

- ☐ Sim      ☐ Não



Mestrado Integrado Em Engenharia Civil – Especialização em Construções

**Inquérito para a Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior**

**9. Durante a última hora, assinale se tomou alguma das seguintes medidas com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico:**

(assinale quantas opções quiser)

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Abrir/fechar uma janela      | <input type="checkbox"/> Subir/descer estores ou correr cortinas       | <input type="checkbox"/> Alterar a temperatura do aquecimento/Ar condicionado |
| <input type="checkbox"/> Abrir/fechar uma porta       | <input type="checkbox"/> Ligar/ desligar o aquecimento/Ar condicionado | <input type="checkbox"/> Não tomei nenhuma medida                             |
| <input type="checkbox"/> Ligar/desligar uma ventoinha |  | <input type="checkbox"/> Outra: _____   |

**10. No momento, o sistema de climatização do espaço está ...**

- ☐ Ligado ☐ Desligado

**11. Há quanto tempo se encontra neste espaço: \_\_\_\_\_**

**12. Como considera a qualidade do ar no EXTERIOR do seu local de trabalho?**

- ☐ Muito aceitável ☐ Aceitável ☐ Má ☐ Muito má

**13. Como considera a qualidade do ar no INTERIOR do seu local de trabalho?**

- ☐ Muito aceitável ☐ Aceitável ☐ Má ☐ Muito má

**14. Como classifica a qualidade do ar em termos de odores no interior do seu local de trabalho?**

- ☐ Sem odores ☐ Odores ligeiros ☐ Odores fortes

**15. Alguma vez se sentiu insatisfeito com o ar dentro do seu local de trabalho?**

- ☐ Sim ☐ Não

**16. Tem a perceção de ar “pesado” dentro do seu local de trabalho?**

- ☐ Sim ☐ Não

**17. Está exposto a ruído que perturba o seu desempenho?**

- ☐ Nunca ☐ Aproximadamente metade do tempo ☐ Quase sempre